

KARDELEN ERYÜREK

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ SAĞ. BİL. ENST.

DOKTORA TEZİ

İSTANBUL-2022

**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**SEMANTİK VE SÖZDİZİMSEL SÜREÇLERDE ÇALIŞMA
BELLEĞİNİN FONKSİYONEL MANYETİK REZONANS
GÖRÜNTÜLEME İLE İNCELENMESİ**

KARDELEN ERYÜREK

**DANIŞMAN
PROF. DR. TAMER DEMİRALP**

**SİNİRBİLİM ANABİLİM DALI
İLERİ NÖROLOJİK BİLİMLER PROGRAMI**

İSTANBUL-2022

İTHAF

Eşime ithaf ediyorum

TEŞEKKÜR

Lisansüstü öğrenimim boyunca bana bilgisi ve bilimsel bakış açısı ile rehberlik eden, öğrenimimde, araştırma deneyimi edinmemde değerli katkıları ve emeği olan, beni destekleyen ve gelişmeye teşvik eden tez danışmanım Prof. Dr. Tamer Demiralp'e,

Bu çalışmanın ortaya çıkmasındaki rolü ve desteği için Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Aygüneş'e,

Bu çalışmanın gerçekleşmesindeki katkıları ve veri toplama aşamasındaki önemli desteği için Sevcan Ayaş Köksal'a,

Manyetik rezonans görüntüleme protokolünün oluşturulmasındaki katkıları için Dr. Öğr. Üyesi Ali Bayram'a,

Araştırmada kullanılan ödevlerin hazırlanmasındaki yardımı için Merve Hangül'e,

Nörogörüntüleme alanındaki gelişimime yönelik katkıları için Hulusi Behçet Yaşam Bilimleri Araştırma Laboratuvarı Nörogörüntüleme Birimi'nde birlikte çalışmış olmaktan mutluluk duyduğum arkadaşlarım Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem Ulaşoğlu Yıldız, Dr. Öğr. Görevlisi Elif Kurt, Dr. Öğr. Üyesi Ani Kızık ve Dr. Öğr. Üyesi Emel Erdoğan'a,

Bilgi ve tecrübeleri ile öğrenimime katkı sağlamış olan tüm öğretim üyelerine,

Destekleri için eşime ve aileme, bu çalışmaya katılmış olan gönüllü katılımcılara,

Doktora öğrenimimde bana burs desteği sağlamış olan TÜBİTAK-BİDEB 2211-A Genel Yurt İçi Doktora Burs Programı'na teşekkür ederim.

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Proje No. 114E581

İÇİNDEKİLER

DOKTORA TEZİ ONAYI.....	İİ
BEYAN.....	İİİ
İTHAF.....	İV
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER.....	VI
TABLolar LİSTESİ.....	İX
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	X
SEMBOLLER / KISALTMALAR LİSTESİ.....	Xİİ
ÖZET.....	XV
ABSTRACT.....	XVİ
1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. Çalışma belleği.....	4
2.2. Sözel çalışma belleğinde modaliteye özgü yaklaşım.....	6
2.2.1. Sözel çalışma belleğinde modalite ayırımına ilişkin nörogörüntüleme çalışmaları.....	9
2.3. Dil ağı.....	11
2.3.1. Dorsal ve ventral dil yolakları.....	11
2.4. Sözdizimsel işleme.....	12
2.4.1. Taşıma.....	13
2.4.2. Bağlama.....	13
2.4.3. Sözdizimsel işleme süreçleri ve sözel çalışma belleği.....	14
2.5. Beyinde özelleşmiş sistemler ve sözel çalışma belleğine sensorimotor yaklaşım.....	15
2.6. Entrensek bağlantısallık ağları.....	17
2.6.1. Olağan durum ağı.....	18
2.6.2. Frontopariyetal ağ ve yürütücü kontrol ağı.....	19
2.6.3. Dikkat çekerlik ağı.....	20
2.6.4. Singulooperkular ağ.....	20
2.6.5. Dorsal dikkat ağı.....	22
2.6.6. Ventral dikkat ağı.....	22

2.6.7. Somatomotor ağ.....	23
2.6.8. Görsel ağ.....	23
2.6.9. İşitsel ağ.....	23
2.6.10. Dil ağı.....	23
2.6.11. Limbik ağ ve bellek ağı.....	24
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	25
3.1. Katılımcılar.....	25
3.2. Verilerin toplanması.....	26
3.3. Araştırmada kullanılan ödevler.....	26
3.3.1. Semantik çalışma belleği ödevi.....	26
3.3.2. Sözdizimsel işleme ödevi.....	29
3.4. Manyetik rezonans görüntüleme.....	31
3.5. Araştırmada kullanılan istatistiksel analiz yöntemleri.....	32
3.5.1. Davranışsal verilerin analizi.....	32
3.5.2. Fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme verilerinin analizi.....	32
3.5.2.1. Ön işleme.....	32
3.5.2.2. Genel doğrusal model.....	34
3.5.2.3. İlgili bölgesi temelli fonksiyonel bağlantısallık analizi.....	36
4. BULGULAR.....	39
4.1. Davranışsal bulgular.....	39
4.2. Aktivasyon analizi bulguları.....	40
4.2.1. Semantik ve sözdizimsel çalışma belleği ödevlerine ilişkin genel fMRG aktivasyonları.....	41
4.2.1.1. Semantik çalışma belleği ödevinde aktivasyon.....	41
4.2.1.2. Semantik çalışma belleği ödevinde deaktivasyon.....	41
4.2.1.3. Sözdizimsel işlememe ödevinde aktivasyon.....	42
4.2.1.4. Sözdizimsel işleme ödevinde deaktivasyon.....	43
4.2.2. Çalışma belleği ile ilgili aktivasyonların semantik ve sözdizimsel süreçler arasında karşılaştırılması.....	47
4.2.2.1. Semantik > sözdizim.....	47
4.2.2.2. Semantik < Sözdizim.....	49
4.2.3. Semantik çalışma belleği ödev koşullarında fMRG aktivasyonları.....	49
4.2.3.1. Semantik sözcük sıklık etkisi.....	49

4.2.3.2. Semantik – uzaklık etkisi.....	52
4.2.3.3. Sözcük sıklığı ve uzaklık koşulları arasındaki etkileşim etkisi.....	52
4.2.4. Sözdizimsel işleme ödev koşullarında fMRG aktivasyonları.....	55
4.2.4.1. Sözdizimsel süreç türü etkisi.....	55
4.3. Fonksiyonel bağlantısallık analizi, ağ temelli istatistik bulguları.....	58
4.3.1. Semantik çalışma belleği ödevinde sözdizimsel işleme ödevine göre daha yüksek fonksiyonel bağlantısallık gösteren ağlar.....	60
4.3.2. Sözdizimsel işleme ödevinde semantik çalışma belleği ödevine göre daha yüksek fonksiyonel bağlantısallık gösteren alanlar.....	61
4.4. Semantik ve sözdizimsel süreçler arasında gözlenen aktivasyon ve fonksiyonel bağlantısallık farklarının mekansal olarak değerlendirilmesi.....	61
5. TARTIŞMA.....	63
5.1. Sözel çalışma belleğinde semantik süreçler.....	63
5.1.1. Semantik çalışma belleği sürecinde aktivasyon ve deaktivasyon.....	63
5.1.2. Semantik çalışma belleği ödevinde koşullar arasında aktivasyon değişimleri.....	65
5.2. Sözel çalışma belleğinde sözdizimsel işleme.....	67
5.2.1. Sözdizimsel işleme sürecinde aktivasyon ve deaktivasyon.....	67
5.2.2. Sözel çalışma belleğinde sözdizimsel süreç türü etkisi.....	69
5.3. Sözel çalışma belleğinde semantik ve sözdizimsel süreçlerin aktivasyon ve ağ temelli istatistik karşılaştırmaları.....	70
5.4. Çıkarımlar ve kısıtlılıklar.....	74
KAYNAKLAR.....	78
ETİK KURUL KARARI.....	99
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI.....	102

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 4-1: Semantik çalışma belleği ve sözdizimsel işleme ödevlerinde dinlenime göre artan aktivasyon gösteren bölgeler.....	44
Tablo 4-2: Semantik çalışma belleği ve sözdizimsel işleme ödevlerinde deaktivasyon gözlenen bölgeler.....	45
Tablo 4-3: Semantik ve sözdizimsel çalışma belleği ödevlerinin karşılaştırmasında anlamlı aktivasyon değişimi gözlenen bölgeler.....	48
Tablo 4-4: Semantik çalışma belleği ödevinde sözcük sıklığı, uzaklık ve sözcük sıklığı ile uzaklık etkileşiminde anlamlı aktivasyon değişimi gösteren bölgeler.....	54
Tablo 4-5: Sözdizimsel işleme ödevinde bağlama ve taşıma koşullarının karşılaştırmasında anlamlı aktivasyon değişimi gözlenen bölgeler.....	58
Tablo 4-6: NBS analizi sonucunda elde edilen ağ yapısına dahil olan ROI'lerin Schaefer atlasındaki parsel isimleri, anatomik karşılıkları ve koordinatları.....	58

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 4-1: Davranışsal bulgular.....	40
Şekil 4-2: Semantik çalışma belleği ödevinde aktivasyon gözlenen alanlar.....	41
Şekil 4-3: Semantik çalışma belleği ödevinde deaktivasyon gözlenen alanlar.....	42
Şekil 4-4: Sözdizimsel çalışma belleği ödevinde aktivasyon gözlenen alanlar.....	43
Şekil 4-5: Sözdizimsel işleme ödevinde deaktivasyon gözlenen alanlar.....	43
Şekil 4-6: Semantik çalışma belleği ödevinde sözdizimsel işleme ödevine göre aktivasyon artışı gözlenen alanlar.....	47
Şekil 4-7: Semantik çalışma belleği ödevinde sözdizimsel işleme ödevine göre artan aktivasyon gözlenen alanlarda etki büyüklüğü grafikleri.....	48
Şekil 4-8: Sözdizimsel çalışma belleği ödevinde semantik çalışma belleğine göre aktivasyon artışı gözlenen alanlar.....	49
Şekil 4-9: Semantik çalışma belleği ödevinde seyrek sözcük koşulunda sık sözcük koşuluna göre aktivasyon artışı gözlenen alanların MNI şablonu üzerinde gösterimi....	50
Şekil 4-10: Semantik çalışma belleği ödevinde seyrek sözcük koşulunda sık sözcük koşuluna göre aktivasyon artışı gözlenen alanların etki büyüklükleri.....	50
Şekil 4-11: Semantik çalışma belleği ödevinde seyrek sözcük koşulunda sık sözcük koşuluna göre daha düşük aktivasyon gözlenen alanların MNI şablonu üzerinde gösterimi.....	51
Şekil 4-12: Semantik çalışma belleği ödevinde seyrek sözcük koşulunda sık sözcük koşuluna göre daha düşük aktivasyon gözlenen alanların etki büyüklüğü grafikleri.....	52
Şekil 4-13: Semantik çalışma belleği ödevinde uzak koşulda yakına göre artmış deaktivasyon gözlenen frontal kutup.....	52
Şekil 4-14: Semantik çalışma belleği ödevinde sözcük sıklığı (seyrek, sık) ile uzaklık (uzak, yakın) koşulları arasındaki etkileşim etkisi.....	53
Şekil 4-15: Semantik çalışma belleği ödevinde sözcük sıklığı (sık, seyrek) ile uzaklık (yakın, uzak) koşulları arasındaki etkileşim etkisi gözlenen alanların etki büyüklüğü grafikleri.....	53
Şekil 4-16: Sözdizimsel işleme ödevinde bağlama koşulunda taşıma koşuluna göre aktivasyon artışı gözlenen alanlar.....	56

Şekil 4-17: Sözdizimsel işleme ödevinde bağlama koşulunda taşıma koşuluna göre aktivasyon artışı gözlenen alanların etki büyüklüğü grafiği.....	56
Şekil 4-18: Sözdizimsel işleme ödevinde bağlama koşulunda taşıma koşuluna göre daha fazla deaktivasyon gözlenen gözlenen alanlar.....	57
Şekil 4-19: Sözdizimsel işleme ödevinde bağlama koşulunda taşıma koşuluna göre daha fazla deaktivasyon gözlenen alanların etki büyüklüğü grafikleri.....	57
Şekil 4-20: NBS sonucunda semantic süreçte sözdizimsel sürece göre artan ve azalan bağlantısallıklar.....	60
Şekil 4-21: Semantik koşulda sözdizimsel sürece göre aktivasyon ve deaktivasyon artışı gözlenen alanlar ile NBS sonucu oluşan alt ağlardan örtüşen düğümlerin karşılaştırması.	62

SEMBOLLER / KISALTMALAR LİSTESİ

ACC: Anteriyor singulat korteks

aCompCor: Anatomik temelli gürültü düzletme

AF: Arkuat fasikül

AG: Angular girus

aINS: Anteriyor insula

ANOVA: Tekrarlayan ölçümler için varyans analizi

AUD: İşitsel ağ (auditory network)

BA: Brodmann alanı

BOLD: Kan-oksijen-seviyesine bağlı (blood-oxygen-level dependent)

CB: Serebellum

CON: Singulooperkular ağ (cingulo-opercular network)

CONT: Kontrol ağ (control network)

dACC: Dorsal anteriyor singulat korteks

DAN: Dorsal dikkat ağ (dorsal attention network)

DMN: Olağan durum ağ (default mode network)

ECN: Yürütücü kontrol ağ (executive control network)

EEG: Elektroensefalografi

EPI: Echo planar imaging

FD: Framewise displacement

fMRG: Fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme

FOV: Görüş alanı (field of view)

FPN: Frontoparietal ağ (fronto-parietal network)

FWHM: Full Width Half Maximum

GLM: Genel doğrusal model (general linear model)

gPPI: Genellenmiş psiko-fizyolojik etkileşimler (generalized psycho-physiological interactions)

HRF: Hemodinamik tepki fonksiyonu (hemodynamic response function)

ICN: Entrensek bağlantısallık ağ (intrinsic connectivity network)

IFG: İñferiyor frontal girus
 IFOF: İñferiyor fronto oksipital fasikül
 IOG: İñferiyor oksipital girus
 IPL: İñferiyor pariyetal lobul
 IPS: İñtrapariyetal sulkus
 ITG: İñferiyor temporal girus
 LIM: limbik ağ (limbic network)
 MFG: orta frontal girus
 MNI: Montreal Neurological Institute
 MPFC: Medyal prefrontal korteks
 MTG: Orta temporal girus
 NBS: Ağ temelli istatistik (network-based statistics)
 OFC: Orbitofrontal korteks
 OİP: Olay ilişkili potansiyeller
 PCC: Posteriyor singulat korteks
 PCG: Parasingulat girus
 PCu: Prekuneus
 PFC: Prefrontal korteks
 PMC: Premotor korteks
 ROI: İlgi bölgesi (region of interest)
 SAL: Dikkat çekereklik ağ (salience network)
 SAL/VENT: Dikkat çekereklik/Ventral dikkat ağ (salience/ventral attention network)
 SFG: Süperiyor frontal girus
 SLF: Süperiyor longitudinal fasikül
 SMA: Suplemer motor alan
 SMG: Supramarginal girus
 SMN: Somatomotor ağ (somatomotor network)
 SPL: Süperiyor parietal lobul
 Spt: Sylvian-pariyetal-temporal
 SS: Standart sapma

STG: Süperiyor temporal girus

TE: Eko zamanı (time of echo)

TFE: Turbo Field Echo

to-FuG: Temporo-oksipital fusiform girus

TPJ: Temporo-pariyetal bileşke (temporo-parietal junction)

TR: Yineleme zamanı (time of repetition)

UF: Unsinat fasikül

VENT: Ventral dikkat ağı (ventral attention network)

VFC: Ventral frontal korteks

VIS: Görsel ağ (visual network)

ÖZET

Eryürek, K. (2022). Semantik ve sözdizimsel süreçlerde çalışma belleğinin fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme ile incelenmesi. İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Sinirbilim ABD. Doktora Tezi. İstanbul.

Sözel çalışma belleğinde semantik ve sözdizimsel süreçlere yönelik farklılıklara ilişkin nörogörüntüleme bulguları kısıtlıdır. Bu çalışmada, semantik ve sözdizimsel sözel çalışma belleği süreçlerinde beyinde oluşan aktivasyonlar ve fonksiyonel bağlantısallık örüntüsü fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRG) ile araştırıldı. Semantik çalışma belleği sözcük sıklığı ve çalışma belleği yükü; sözdizimsel işleme ise bağlama ve taşıma sözdizimsel yapıları ile çalışma belleği yükü etkileriyle incelendi. 25 sağlıklı katılımcının verilerinden edinilen bulgulara göre, aktivasyonlar özellikle dorsal dikkat (DAN), kontrol ağı (CONT) ve görsel ağ (VIS) alanlarında gözlemlendi. Her iki ödev sırasında, olağan durum ağı (DMN) ve dikkat çekerlik/ventral dikkat ağ alanları deaktivasyon gösterdi. Öne çıkan aktivasyonlar, semantik çalışma belleği sürecinde bilateral inferior frontal girusta (IFG), sözdizimsel işlemede sol fronto-pariyetal alanlar, serebellum ve talamik yapılarda gözlemlendi. Semantik çalışma belleğinde, sözcük sıklık etkisi, bilateral DAN, CONT ve VIS alanlarında daha yüksek aktivasyona yol açarken, sözdizimsel işlemede bağlama sol IFG’de taşımaya göre daha yüksek aktivasyona neden oldu. Semantik ve sözdizimsel süreçler kıyaslandığında, sağ IFG aktivasyonu semantik koşulda sözdizime göre daha yüksekti. Ağ temelli fonksiyonel bağlantısallık analizi bulgularında özellikle DMN, DAN, CONT ve VIS düğümlerinin dahil olduğu bir yapı gözlemlendi. Bu farklı ağların düğümleri arasında semantik koşulda sözdizime göre artan bağlantısallıklar gözlenirken, sözdizimde DAN ve DMN’nin ağ içi hemisferler arası bağlantısallığının arttığı görülmekte ve sol temporo-pariyetal alanların bağlantıları öne çıkmaktadır. Bulgularımız, sözel çalışma belleğinde semantik süreçlerde bilateral IFG’nin rolünü ve kognitif yükte aktivasyonunda artış gözlenebileceğini belirtmektedir. Sözdizimsel süreçlerde dil ağı ile örtüşen sol fronto-temporo-pariyetal alanlar ve aktivasyonu değişirse de bazı ağların sağ hemisfer düğümleri artan bağlantısallık sergilemektedir.

Anahtar Kelimeler : Çalışma belleği, fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme, dilbilim, nörogörüntüleme, kısa süreli bellek

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Proje No. 114E581

ABSTRACT

Eryürek, K. (2022). Investigation of working memory during semantic and syntactical processes with functional magnetic resonance imaging. Istanbul University, Institute of Health Science, Department of Neuroscience. Doctoral Thesis. Istanbul.

There is limited neuroimaging evidence on distinguishing between semantic and syntactic domains in terms of verbal working memory (vWM). The current study investigated brain activations and functional connectivity patterns during semantic and syntactic vWM via functional magnetic resonance imaging (fMRI). For this purpose, semantic vWM was explored with effects of word frequency and load, whereas syntactic vWM with effects of load, and two syntactic elements, binding and movement. Data from 25 healthy participants revealed activation mainly in dorsal attention (DAN), control (CONT) and visual (VIS) networks. Default-mode (DMN) and salience/ventral attention networks deactivated during both tasks. Prominent activations were observed in bilateral inferior frontal gyri (IFG) during semantic, whereas in left fronto-parietal regions, cerebellum and thalamus during syntactic vWM. Word frequency produced increased activation in bilateral DAN, CONT and VIS in semantic vWM. Left IFG activation increased during binding condition compared to movement in syntactic vWM. Right IFG activation increased in overall semantic condition compared to syntax. Network-based statistics on functional connectivity revealed a configuration mostly among DMN, DAN, CONT and VIS nodes. These network nodes exhibited increased connectivity in semantic condition compared to syntax, whereas in syntax, compared to semantic, DAN and DMN showed increased within network connectivity across hemispheres. Also, left temporo-parietal regions were strongly involved. Our results indicate that bilateral IFG are involved in semantic vWM and showed increased activation related to cognitive load. Left fronto-temporo-parietal regions are involved in syntactic vWM and several right hemisphere nodes of networks exhibited connectivity alterations regardless of changes in activation.

Key Words: Functional magnetic resonance imaging, working memory, linguistics, neuroimaging, short-term memory

The present work was supported by TÜBİTAK. Project No. 114E581

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Kognitif olarak karmaşık bir organizmanın ayırt edici özelliklerinden biri, fiziksel bir ortamda bilgiyi depolama, sürdürme ve manipüle etme yeteneğidir (Buchsbaum ve D'Esposito 2019). Çalışma belleği, belirli miktarda bilgiyi, anlık aktivitelerimiz için aktif olarak tutmamızı sağlayan; eylemlerimizi yönlendirme, karar verme, planlama, problem çözme, navigasyon, yaratıcı düşünme ve dil gibi süreçlere yardımcı olan, yaşamda her an kullandığımız bir beceridir (Logie ve ark. 2021). Çalışma belleği terimi ilk olarak Miller ve ark. (1960) tarafından kullanılmıştır, ancak bu konudaki temel teorik ve ampirik gelişmeler genellikle Baddeley ve Hitch (1974) tarafından oluşturulmuş olarak kabul edilmektedir (Logie ve ark. 2021). Özellikle son 60 yıldır, çeşitli modeller ile kavramsallaştırılan ve nöral karşılıkları incelenen bir alan olmuştur.

Çalışma belleği, genel olarak, görsel-mekansal ve sözel modalitedeki bilgiye yönelik ayrılabilir (Baddeley 1992). Sözel çalışma belleğinin dil işleme ile ilişkisi sıklıkla araştırılan bir konu olmuştur. Bu bağlamda, özellikle, fonolojik, semantik ve sözdizimsel işlemler öne çıkmaktadır. Sözel çalışma belleğinde fonolojik unsurlar geniş çerçevede ele alınmışken, Martin ve ark. (1994) afazi hasta gruplarında gerçekleştirdikleri nöropsikoloji çalışmalarında, kısa süreli bellek bozulmalarının fonolojik ve semantik bileşenlere yönelik farklılık gösterdiklerini gözlemişlerdir. Böylelikle, sözel çalışma belleğinin semantik bileşenleri için farklı bir depolama sistemi ileri sürülmüştür (Martin ve ark. 2021). Ancak, sözel çalışma belleğinin semantik modaliteye özgü ayrı bir depo sistemi olması yerine, semantik devrelerle etkileşerek çalıştığını ileri süren görüşler de vardır (Reuter-Lorenz ve Jordan 2021). Özetle, sözel çalışma belleğine ilişkin, dil işleme ile örtüşen ve modaliteye göre farklılık görülebileceğini öne süren, özellikle nöropsikolojik gözlemlerden temel alan yaklaşımlar söz konusudur.

Yakın zamanlı kognitif nörobilim çalışmaları, çalışma belleğinin genelde modaliteye bağlı olarak sensorimotor, algısal, yürütücü kontrol ve semantik süreçlerle ilgili devrelerle resiprokal etkileşim içinde çalıştığını ileri sürmektedir (Buchsbaum ve D'Esposito 2019). Nörogörüntüleme çalışmaları, sözel çalışma belleğinin nöral karşılıklarını genellikle fonolojik unsurlar yönünden ele almış olup, semantik süreçlerde

beyinde oluşan örüntüye dair kısıtlı çıkarımlar bulunmaktadır. Semantik çalışma belleğine ilişkin yaklaşımlar nöropsikolojik gözlemler ile oluşturulmuş ve az sayıda nöroröğüntüleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Sözdizimsel işlemlerin sözel çalışma belleği ile ilişkisine yönelik çalışmalar ise özellikle dil ağının katılımının çeşitli dillerdeki sözdizimsel işleme türlerine göre değişebileceğini göstermektedir (Friederici 2018). Bu bağlamda, sözdizimsel işleme ile çalışma belleği arasındaki ilişki ve nöral karşılıkları literatürde farklı yaklaşımlar ile ele alınmaktadır. Semantik ve sözdizimsel süreçler, sözel çalışma belleği temelinde genellikle ayrı olarak çalışılmıştır. Örneğin, semantik çalışma belleğine ilişkin çıkarımlar, deney tasarımlarında fonolojik bir koşul ile kıyaslanarak edinilmiştir. Sözdizimsel işleme ise, farklı sözdizimsel yapıların çalışma belleği ile etkileşimi yönünden incelenmiştir. Özetle, semantik ve sözdizimsel süreçlerin sözel çalışma belleği bağlamında beyinde etkinleştirdikleri benzerlik gösteren ve farklılaşan yapılar yeterince aydınlatılamamıştır.

Yaklaşık son 20 yılda, nörogörüntüleme çalışmalarında kognitif süreçlere yönelik ağ temelli yaklaşım oluşmuş; beyin, çeşitli ağlar arasında etkileşimin gerçekleştiği kompleks bir sistem olarak görülmeye başlamıştır (Power ve ark. 2011). Bu ağların aktivasyonları ve fonksiyonel bağlantısalılıkları arasında çeşitli ödev koşullarında ve ödev koşulu olmaksızın beynin dinlenme durumundaki aktivitesi araştırılmaktadır (Raichle 2015). Dikkat, algı, çalışma belleği, motor öğrenme, emosyon, bellek, yürütücü kontrol gibi süreçlerin bu ağlar arasındaki etkileşimler ile gerçekleştiğine ilişkin nörogörüntüleme bulguları giderek artmaktadır (Cole ve ark. 2014; Gratton ve ark. 2018). Semantik ve sözdizimsel süreçler arasında sözel çalışma belleğine katılan ağların değerlendirilmesi, bu süreçler arasındaki farklılıkların ortaya çıkarılmasında faydalı olabilir.

Bu çerçevede, bu tezde, sözel çalışma belleğinin semantik ve sözdizimsel süreçlerinde beyinde oluşan aktivasyon ile fonksiyonel bağlantısalılık örüntülerinin ağ temelli bir yaklaşımda ele alınması amaçlanmıştır. Bunu gerçekleştirmek için, ilk olarak, semantik ve sözdizimsel süreçler ayrı deneysel paradigmlar ile incelenmiştir. Semantik çalışma belleği, sözcüklerin kategorilerinin çalışma belleğinde tutulmasını hedefleyen bir ödev ile, çalışma belleği yükü ve sözcük kullanım sıklığına bağlı semantik zorluk etkileri yönünden değerlendirilmiştir. Sözdizimsel süreçler ise Türkçede yer alan önemli sözdizimsel yapılar olan bağlama ve taşıma olgularını içeren

cümleler ile çalışma belleği yükü çerçevesinde ele alınmıştır. Genel etkileri değerlendirmek amacıyla, semantik ve sözdizimsel işleme sırasında aktivasyon ve fonksiyonel bağlantısalılık örüntüleri incelenmiştir. Sözdizimsel ve semantik süreçlerde sözel çalışma belleğine katılan ağ yapıları arasında farklılıklarının ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Ayrıca, sözdizim ve semantik çalışma belleği ödevlerinde, zorluk seviyesi ve deneysel koşullara göre aktivasyon değişimlerinin araştırılması amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Çalışma belleği

Çalışma belleği, bilginin geçici olarak depolanması ve kompleks kognitif işlemlerin gerçekleştirilebilmesi için kullanılmasını sağlayan, kısıtlı kapasitede bir sistem olarak tanımlanabilir (Baddeley 2003; Baddely ve ark. 2021). Baddeley ve Hitch'in (1974) modeline göre, çalışma belleği, çoklu bileşenlere sahip, yürütücü kontrolü destekleyen bir sistemdir (Baddeley 1992).

Kısa ve uzun süreli bellek arasında ayırım yapılabilmesi çalışma belleğine ilişkin modellerin ortaya çıkmasına olanak sağlamıştır. Bu ayırımı, epilepsi nöbetleri nedeniyle, hippokampal formasyon, amigdala ve temporal korteksin multimodal asosiyasyon bölgelerinin bölümleri bilateral olarak çıkarılmış olan amnestik H.M olgusundan edinilen nöropsikolojik gözlemler etkili olmuştur (Kandel ve ark. 2013 pp.1442-1443). Bu gözlemler, belleğin sıralı depolama sistemleri ile kavramsallaştırılmasına yol açmıştır. Bu tür bir modelde bilginin, duysal süreçlerin bir parçası olarak geçici duysal depolarda tutulması, sonrasında kısıtlı kısa süreli bellek sistemi deposuna geçmesi, daha sonra uzun süreli belleğe aktarılması, aşamaları yer almaktadır (Baddeley 2010).

Bu aşamaları kapsayan Atkinson ve Shiffrin'in (1968) çalışma belleği modelinde bilgi, duysal depolardan kognisyonda merkezi bir sistem olan kısa süreli bellek deposuna aktarılmaktadır (Baddeley ve Hitch 2019). Modelde üç bellek depolama sistemi öne sürülmüştür. Duysal tamponlar paralel olarak işlem yaparak algının temelini oluşturan bir sistemi oluşturur. Ancak, bilgiye odaklanmış dikkat söz konusu ise, kısa süreli bellek deposuna aktarım mümkün olur. Kısa süreli bellek, uzun süreli bellek ile bir arayüze sahip olan, kısıtlı kapasitedeki bir dikkat kontrol sistemi olarak da rol oynamakta ve çalışma belleği olarak ele alınmaktadır (Baddeley ve Hitch 2019). Kısa süreli bellek, aynı zamanda, kademeli olarak, uzun süreli bellek sistemine bilginin transfer edilmesine izin vermektedir (Baddeley ve Hitch 2019). Bu modelde, iki temel sorun olduğu görülmüştür. Uzun süreli belleğe, zamana dayalı, kademeli bir bilgi transferi olmadığına dair bazı gözlemler yapılmıştır. Craik ve Lockhart (1972), uzun süreli belleğin, bir materyalin işlemlenme süresine kıyasla nasıl işlemlendiği ile daha fazla ilgili olduğunu gözlemişlerdir. Örneğin, bu çıkarım, bir kelimenin anlamının

işlemlenmesinin, görsel özelliklerinin yüzeysel olarak kodlanmasına göre çok daha etkili olması ile açıklanabilir (Baddeley ve Hitch 2019). Bir diğer sorun, modelin kısa süreli belleğin çalışma belleği olarak işlev görmesi varsayımıdır. Kısa süreli belleğe ilişkin spesifik kusuru olan hastaların Atkinson ve Shiffrin (1968) modeline göre bilginin uzun süreli belleğe transferi aşamasında önemli düzeyde bir tıkanma yaşamaları beklenmektedir. Buna karşın, olgu çalışmalarında, hastaların böyle bir bozukluğu bulunmamıştır (Shallice ve Warrington 1970; Baddeley 2010). Uzun ve kısa süreli bellek ayrımı, bu ve benzeri nöropsikolojik veriler ile desteklenmekte olup, Atkinson ve Shiffrin (1968) modelinin varsayımları ile çelişmektedir. Baddeley ve Hitch (1974) çalışma belleğini çoklu bileşenlerden oluşan ve yürütücü kontrolü destekleyen bir sistem olarak kognitif bir çerçevede ele almışlardır (D’Esposito 2007).

Çoklu bileşen modelinde merkezi yürütücü, fonolojik döngü, görsel-mekansal kopyalama ve epizodik tampon bileşenleri yer almaktadır (Baddeley 2010). Görsel mekansal modalitedeki bilgi için görsel mekansal kopyalama ve sözel modalitedeki bilgi için fonolojik döngü, tampon bileşenler olarak yer almaktadır (D’Esposito ve Postle 2015). Fonolojik döngü, özellikle işitsel olarak sunulan bilgiyi kısa süreli olarak tutmayı sağlarken, bir diğer bileşeni, iç sesle tekrara dayanan, artikülatuar kontrol sistemidir. Böylelikle, bu modelde, geçici bir depo sistemi ile örtük veya açık olarak sesle tekrarlama süreci arasında ayrım görülmektedir (Baddeley 2010). Geçici depolama sistemi bilgiyi kısa süreli olarak tutar, eğer artikülatuar kontrol sistemi ile tekrar edilmezse, bilgi kaybolur (Baddeley 2003). Merkezi yönetici, fonolojik ve görsel-mekansal sistemlerden iletilen bilginin kontrolü, dönüştürülmesi, manipüle edilmesi ve koordinasyonunu kontrol etmektedir (D’Esposito 2007; Baddeley 2003). Modele daha sonra eklenen bir bileşen olan epizodik tampon, görsel, sözel ve uzun süreli bellek olmak üzere geniş kaynaklardan gelen bilginin birleştirilmesinde rol oynamaktadır. Dahası, Baddeley’e (2010) göre bu kaynakların arasında tat ve koku modalitesi de yer alabilmektedir. Epizodik tampon, çalışma belleğinde farklı kodlama sistemlerine dayanan bileşenlerin, birbirleriyle, algısal süreçlerle ve uzun süreli bellek ile etkileşebileceği ve çok boyutlu bir üst kodlamaya katılabileceği, geçici bir depolama sistemi sağlamaktadır (Baddeley 2003). Kısıtlı kapasitede olan bir sistem olan epizodik tamponun, dikkatin kontrolünü ve yönlendirilmesini sağlayan merkezi yürütücünün aksine, pasif bir sistem olduğu düşünülmektedir (Baddeley 2010). Sonuç olarak, çoklu

bileşen modelinde uzun süreli bellek ile çalışma belleği arasındaki ayrım açık olarak gösterilmiştir.

Çoklu bileşen modelinden farklılık gösteren gömülü işlemler modeli (embedded processes model) çalışma belleğini, uzun süreli belleğin geçici olarak aktif duruma gelen bir bileşeni olarak ele almaktadır (Cowan ve ark. 2021). İlk olarak, modelde kısa süreli belleğin iki bileşen ile yer aldığı görülmektedir. Bunlardan ilki, kısıtlı kapasitede olan dikkat odağıdır. Depolama için ayrı bir sistem bulunmaz. İkinci bileşen, uzun süreli belleğin aktif duruma gelen kısmı olup, bu bölüm depo görevi görmektedir (Cowan ve ark. 2021). Aktif olarak bilginin tutulması dikkate bağlı tekrarlama ile sözel tekrarlama. Kodlama aşaması zayıf olarak gerçekleşen bilgi kaybolur (Cowan ve ark. 2021). Bu modele göre, çalışma belleğinin belirli bir bilgiyi işleme sürecine katılan bölgeleri aktif hale getirebilir (Postle ve ark. 2006; Yue ve Martin 2022). Örneğin, sözel çalışma belleği sürecinde, sol süperiyör temporal girusta (STG) fonolojik temsillerin geçici olarak aktif duruma gelmesi söz konusudur. STG, düşük seviyeli akustik temsillerin, fonolojik özellikler için uzun süreli bellek temsilleri üzerine haritalanması ile gerçekleşen konuşma işlemlenmesine katılmaktadır (Yue ve Martin 2022).

2.2. Sözel çalışma belleğinde modaliteye özgü yaklaşım

Yukarıda bahsedilen çalışma belleği modelleri, sözel bilginin tipik olarak fonolojik unsurlarını vurgulamaktadır. Martin ve Romani (1994), afazi hastaları ile gerçekleştirdikleri davranışsal çalışmalarda, bazı hastalarda fonolojik, bir kısmında ise semantik bilgiye özgü kısa süreli bellek kusurları gözlemişlerdir. Semantik kısa süreli bellek kusurları, tek kelime anlama sorunu ile ilişkilendirilememiştir (Martin ve Saffran 1997). Martin ve ark. (1999; 2021a) hastalar ile sağlıklı katılımcılar ile gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen davranışsal bulgular ışığında, sözel çalışma belleğinde semantik ve fonolojik bilgi için ayrı olarak özelleşmiş depo sistemleri olabileceğini öne sürmüşlerdir. Ayrıca, gözlemledikleri semantik kısa süreli bellek kusuru gösteren hastaların hasarlarının sol inferiyör frontal girus (IFG) alanlarında olması ve uzun süreli semantik bilgi ile ilişkilendirilen orta temporal girus (MTG) ve inferiyör temporal girus (ITG) alanlarını kapsamaması nedeniyle uzun süreli bellek bozukluğu ile ilişkilendirilememiştir (Martin ve ark. 2004).

Martin ve ark. (1999) ileri sürdüğü çalışma belleği modelinde, farklı modalitedeki bilginin tutulmasına dayanan özelleşmiş depolama sistemleri yer

almaktadır. Modaliteler genel olarak sözel ve görsel-mekansal olarak öne çıkarken, sözel bilginin temsili de ortografik, fonolojik ve semantik olarak ayrılmaktadır. Bu yaklaşım, gömülü işlemler modeli (Cowan ve ark. 2021) ile tampon modelleri (Baddeley ve Hitch 2019) arasında yer almaktadır (Martin ve ark. 2021b). Bilginin modalitesine özgü tamponlar, özelleşmiş işleme sistemlerinde gömülü olarak yer almaktadır. Örneğin, ortografik çalışma belleği sürecindeki tamponunun, tüm sözcük temsili, sözcük hecelerinin uzun süreli bellekte depolanması ile yazı yazarken gerçekleşen motor süreçler arasında yer aldığı varsayılmaktadır (Martin ve ark. 2021a). Bu tampon, ortografik bilgiye özgü olup, diğer sözel bilgi türlerinden, örneğin fonolojik bilgidен ayrılmaktadır (Martin ve ark. 2021b).

Martin ve ark. (1994) sözel çalışma belleğinde semantik ve fonolojik ayrımları ortaya çıkarmaya ilişkin bir paradigma geliştirmişlerdir. Bu ödevde, katılımcıların biri kafiye (rhyme-probe), diğeri kategoriye (category-probe) özgü olmak üzere iki koşul ile fonolojik ve semantik bileşenlere yönelik performansları kıyaslanmıştır. Katılımcılar, ilk koşulda kendilerine sunulan bir sözcüğün (probe) daha önce liste halinde sunulan sözcüklerden biri ile kafiye uyumu olup olmadığına karar vermektedir. Kategori koşulunda ise, katılımcılar, sözcüklerin aynı semantik kategoride olup olmadığına karar vermektedir. Fonolojik çalışma belleği kusuru olan hastalar, kategori ödevinde, semantik çalışma belleği kusuru olanlara göre daha iyi performans sergilemişlerdir. Semantik çalışma belleği kusuru bulunanlar ise tersi yönde performans göstermiştir (Martin ve ark. 1994). Bunun yanında, hastaların konuşma algısı ve tek kelime anlamaları test edilmiş ve performansları çalışma belleği dışında, fonolojik ve semantik işleme ile ilişkilendirilememiştir (Martin ve ark. 1994; 2021b). Örneğin, hafif düzeyde konuşma algılama bozukluğu olan olgular olsa da bu kişiler fonolojik çalışma belleğinde yüksek performans sergilemişlerdir (Martin ve Breedin 1992; Martin ve ark. 2021a). Böylelikle, çeşitli olgu çalışmalarında (Martin ve Schnur 2019) fonolojik ya da semantik bilgiye özgü kusur gösteren ve konuşma algısı ya da uzun süreli bellekle ilgili büyük kusurları bulunmayan olgular sunmuşlardır. Yine olgu çalışmalarında fonolojik kusuru bulunan hastalarda büyük ölçüde azalmış menzil ve işitsele kıyasla görsel temsillere yönelik daha iyi performans gözlenmiştir (Martin ve ark. 1999; 2021b). Buna karşın, semantik çalışma belleği kusuru bulunanların ise menzilleri azalmış olsa da fonolojik çalışma bellekleri daha iyi korunmuştur (Martin ve He 2004). Ayrıca, bu hastalar, normalde bekleneneği üzere işitsel sunumda görsel uyaranlara göre daha iyi

performans göstermişlerdir. Hasta grupları arasında leksikal durumları açısından ise farklılık bulunmamıştır (Martin ve He 2004). Fonolojik çalışma belleği bozukluğu olan hastalar testlerde sözcük olmayanlara kıyasla sözcüklere yönelik daha iyi performans sergilemişken; semantik çalışma belleği kusuru olanlar bu avantajı göstermemişlerdir (Martin ve ark. 1994; Martin ve He 2004).

Martin ve ark. (2021a) aynı zamanda, semantik çalışma belleği kapasitesinin cümle anlamada önemli rol oynadığını iddia etmişlerdir. Cümle anlama, diğer kognitif sistemler ve uzun süreli bellek ile önemli bir etkileşime gereksinmektedir (Loaiza ve Camos 2018; Martin ve ark. 2021a). Ancak, standart kısa süreli bellek menzili ödevleri ile cümle anlama performansı arasındaki korelasyon düşük gözlenebilmektedir (Daneman ve Merikle 1996; Martin ve ark. 2021a). Martin ve ark. (2021b) göre, cümle anlama sürecinde, birden fazla sözcüğün anlamlarının entegrasyonu öncesinde aktif olarak semantik temsilleri tutulmalıdır. Bu çerçevede, fonolojik değil, semantik çalışma belleği kapasitesinin önemini vurgulamışlardır (Martin ve ark 2021b). Cümle işleme kusurlarında modaliteye özgü çalışma belleği bozukluklarının etkisi Martin ve Romani (1994) tarafından sunulan ilk olgu çalışmalarında gösterilmiştir. Örneğin, fonolojik çalışma belleği bozukluğu bulunan bir olgu, anlamada iyi performans sergilerken, cümle tekrarlamada ise semantik çalışma belleği bozukluğu bulunan olgular daha iyi performans sergilemiştir (Martin 1994). Bir diğer çalışmada, Tan ve Martin (2018) afazi hastalarında, cümle anlamada sözel kısa süreli bellek ve yürütücü kontrol fonksiyonlarının rolünü, semantik ve sözdizimsel enterferans koşulları çerçevesinde test etmişlerdir. Semantik bilgileri kontrol edilen hastalarda çeşitli düzeylerde kısa süreli bellek ve yürütücü kontrol kusurları bulunmakta olup, hastaların cümle okuma süreleri ve anlama sorularına yönelik yanıtları değerlendirilmiştir. Semantik kısa süreli bellek kapasiteleri, semantik enterferansı çözme becerileri ile ilgi bulunmuşken, cümlelerdeki sözdizimsel enterferansı çözmeleri ile ilişki bulunmamıştır. Bunun tersine, yürütücü kontrol becerileri sözdizimsel çözümleme ile ilgili bulunmuş ve fonolojik kısa süreli bellek kusurları ise iki tür enterferansı çözme başarıları ile ilintili bulunmamıştır (Tan ve Martin 2018). Tan ve ark. (2017) sağlıklı kişilerde gerçekleştirdiği çalışmada, katılımcıların kategori uyumu ödevi ile ölçülen semantik çalışma belleği kapasitelerinin, semantik enterferansı çözmede reaksiyon sürelerini öngörücü etkisini göstermiştir. Kelime bilgileri ile operasyon ve okuma menzili kontrol edilen katılımcıların, fonolojik kısa süreli bellek performansları cümle anlama becerilerini öngörmemiştir. Bu

çalışmalara göre, sözdizimsel enterferans semantik ya da fonolojik kısa süreli bellek kapasiteleri ile ilgili göstermezken, cümle anlamada semantik çalışma belleğinin semantik temsilleri akılda tutmaya yönelik özel bir rolü olabileceği vurgulanmıştır.

Dil üretimini (language production) inceleyen olgu çalışmalarında, semantik çalışma belleği kusuru olan olguların birden çok içerik sözcüğü olan cümle üretimlerinde bozulma gözlenmiştir (Martin ve ark. 2021a). Örneğin, olguların, sözcükleri birbirinden ayrı olarak üretmede sorunları olmasa da gördükleri resmi “kısa sarı saç” gibi ifadelerle tanımlamaları bozulmuştur (Martin ve Freedman 2001; Martin ve ark. 2004). Fonolojik çalışma belleği kusuru bulunanlar ise, bu bozukluğu göstermemiştir (Martin ve Freedman 2001; Martin ve ark. 2004). Martin ve Schnur (2019) olgu serileri çalışmalarında benzer biçimde, sol hemisfer inmesi olan hastalarda, semantik çalışma belleği kapasitesinin kurdukları cümle uzunluğu ile ilgili olduğunu, buna karşın fonolojik çalışma belleği kapasitesinin ise konuşma oranına (dakika başı kelime sayısı) katkı yaptığını gözlemişlerdir. Bu çalışmadan yapılan çıkarımlara göre, semantik çalışma belleği kapasitesi, ifadelerin semantik içeriğinin planlanmasında önem gösterirken, gramatik yapılarının planlanmasında önemli değildir (Martin ve Schnur 2019). İfadeler yapılandırıldığında ise semantik değil, fonolojik çalışma belleği kapasitesi konuşma hızını belirlemektedir. Daha yüksek fonolojik kapasite, dil üretimini daha akıcı ve hızlı kılabilir. Böylelikle, dil üretiminde de anlama sürecinde olduğu gibi, ayrışan fonolojik ve semantik çalışma belleği kapasitelerine işaret edilmiştir (Martin ve Schnur 2019; Martin ve ark. 2021a).

2.2.1. Sözel çalışma belleğinde modalite ayırımına ilişkin nörogörüntüleme çalışmaları

Sözel çalışma belleğinde farklı modaliteler çerçevesinde gerçekleştirilen nörogörüntüleme çalışmalarında, özellikle semantik ve fonolojik bileşenleri ayırıştıran paradigmlar kullanılmıştır. Martin ve ark. (2003) fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRG) çalışmalarında tanıma (recognition) testine dayalı bir paradigmda semantik akılda tutma (retention) için eş anlamlı sözcüklerin, buna karşın, fonolojik akılda tutma için kafiye uyumunun değerlendirmesine dayalı koşullardaki aktivasyonları araştırmışlardır. Bu iki koşulda da ölçülen gecikme sürecinde (delay period), sol inferiyor pariyetal lobul (IPL), özellikle supramarginal girus (SMG) fonolojik akılda tutma sürecinde semantik koşula göre daha yüksek aktivasyon

göstermiştir. Sol frontal alanda ise ancak marjinal olarak anlamlılık eşiğinde, semantik koşulda daha yüksek aktivasyon gözlenmiştir (Martin ve ark. 2003). SMG'nin fonolojik çalışma belleği yüküne duyarlı olması nedeniyle, bu alan fonolojik döngüyle ilintili olarak kabul edilmektedir (Buchsbaum ve D'Esposito 2019; Yue ve ark. 2019; Yue ve Martin 2022). Sol pariyetal lob, sağlıklı katılımcılarla gerçekleştirilen nörogörüntüleme ve nöropsikoloji çalışmalarının bulgularına göre fonolojik ve ortografik modalitelere katılmaktadır (Martin ve ark. 2003; Martin ve ark. 2021b). Semantik kısa süreli bellek işlemlerine ilişkin, Martin ve ark. (1999; 2021a) olgu çalışmalarında işaret ettiği gibi, sol inferiyor frontal kortikal alanların rolü Hamilton ve ark. (2009) tarafından da öne sürülmüştür. Buna karşın, semantik çalışma belleğine ilişkin sağ IFG ve temporal alanların katılımına ilişkin bulgular da bildirilmiştir (Shivde ve Thompson-Schill 2004; Shivde ve Anderson 2011). Semantik çalışma belleğine ilişkin bilateral bir örüntü, dil işlemlerde semantik bileşenlere yönelik olarak ortaya çıkıyor olabilir. Örneğin, ikili nörobiyolojik dil modelinde, sözdizimi gibi temel dilsel işlevleri destekleyen sol taraflı bir sistem ve semantik yorumu destekleyen bilateral olarak yapılanmış ikinci bir sistem ileri sürülmektedir (Caplan ve ark. 1996; Friederici ve ark. 2003; Wright 2012).

Özetle, literatürde, fonolojik bileşenler bağlamında sözel çalışma belleğine ilişkin nörogörüntüleme çalışmalarının tutarlı biçimde sol SMG ve IPL yapılarına işaret ettiği görülürken, semantik çalışma belleği için kısıtlı bulgular yer almaktadır. Semantik sistem ile çalışma belleği ele alındığında, nörogörüntüleme çalışmalarından elde edilen bulgular, bu süreçler arasında örtüşen alanlar ortaya çıkarmıştır. Semantik süreçlerde, özellikle sol IFG'nin, buna ek olarak angular girusun (AG) rol oynayabileceği görülürken (Seghier 2013), bilateral IFG katılımı da öne çıkmaktadır. Yukarıdaki bölümde özetlenen semantik bilgi için çalışma belleğinde ayrı bir depolama ve tampon sistemi olabileceği görüşünün (Martin ve ark.1994) aksine, sözel çalışma belleğinin semantik devreler ile etkileştiğine yönelik bir yaklaşım da söz konusudur (Reuter-Lorenz ve Iordan 2021). Buna göre, çalışma belleği sürecinde semantik sistem ile etkileşim ödev gerekliliklerine bağlı olup, katılımcıların hedef ve beklentilerine göre sözcüklerin çalışma belleğinde fonolojik ya da semantik özelliklerine göre tutulacağı belirlenebilmektedir (Rose ve ark. 2014). Deney tasarımının modaliteler arası ayrımı ortaya çıkarmada önemli olduğu, semantik kısa süreli bellek veya çalışma belleği üzerine gerçekleştirilen çalışmalarda katılımcıların ödev sırasında semantik temsillere

ulařmaları yönünde motive edilmesinin önemi üzerinde durulmuřtur (Yue ve Martin 2022).

2.3. Dil ağı

Beyinde dil işlemlmeye ilişkin alanlar arasında özellikle Broca alanını (Brodmann Alanı (BA) 44/45) kapsayan IFG ve Wernicke alanını (BA 22) kapsayan STG öne çıkmaktadır (Friederici ve Gierhan 2013). Bu alanların yanında, işitsel, görsel sistemler ve dil üretimi için motor ve premotor alanlar da devreye girmektedir (Friederici ve Gierhan 2013). Böylelikle, çekirdek dil ağı, genel olarak, sol fronto-temporo-pariyetal alanlara yayılmıştır (Price 2010). Perisylvian dil ağı semantik sistem ile de örtüşme gösterir, özellikle MTG, temporo-pariyetal alanlar ile IFG ve dorsal medyal prefrontal korteks (MPFC) alanlarını kapsar (Fedorenko ve ark. 2011; Xu ve ark. 2016). Fonolojik, leksikal, semantik ve sözdizimsel gibi farklı süreçlerin entegrasyonu dil işlemlmede gereklidir (Xiong ve Newman 2021). Yakın zamanlı çalışmalardan edinilen çıkarımlar ile, dil işlemlmenin geniş kategoride yer alan ağlar tarafından desteklenebileceğı öne sürölmüştür (Xiong ve Newman 2021). Çalışma belleğı, kognitif kontrol ve dikkat ile ilgili ağ yapıları dil işlemlmeye ilişkin ödevlere, gereksindiğı sürece katılabilir (Xiong ve Newman 2021). Bunun dışında, kovansiyonel dil devresinde çeşitli dil işlemlme süreçlerinin ayırımına bakılırsa, dorsal ve ventral ak madde yolakları ile ayrışan süreçler genel olarak tanımlanmıştır.

2.3.1. Dorsal ve ventral dil yolakları

Majör ak madde yolaklarının bağlantıları ile ayrışan dorsal ve ventral dil alanları özellikle semantik bileşenlere ilişkin süreçler ile motor ve sözdizimsel işlemlleme (syntactic processing) süreçlerine katılımları yönünden ayırım göstermektedir.

Arkuat fasiköl (AF) ve süperiyor longitudinal fasikölün (SLF) bölümleri, frontal korteks ile temporal korteksi bağlayan dorsal yolakları oluşturur. (Friederici ve Gierhan 2013). AF, direkt olarak Broca ve Wernicke alanlarının bağlantısını sağlamaktadır (Friederici ve Gierhan 2013). SLF, dolaylı olarak, MTG veya STG ile dorsal premotor korteks (PMC) arasında pariyetal korteks aracılığıyla bağlantı kurar (Saur ve ark. 2008). Özellikle SLF II'nin insanlarda, AG ile frontal korteks arasında bağlantı sağladığı gösterilmiştir. SLF III ise, frontal korteksi SMG'ye bağlar, temporo-pariyetal SLF bölümü ise AG ve temporal korteks arasındaki bağlantıyı oluşturmaktadır (Galantucci ve ark. 2011; Friederici ve Gierhan 2013). Bu dorsal yolaklar arasında, MTG/STG'den

PMC'ye giden yolak konuşma tekrarı (Saur ve ark. 2008), buna karşın, STG'den Broca alanına uzanan ikinci yolak ise karmaşık sözdizimsel işleme ile ilişkilendirilmiştir (Makris ve ark. 2005). Bu yönüyle, dorsal yolakların dil işlemede farklı işlevleri desteklediği düşünülmektedir (Wilson ve ark. 2011). Dil üretiminde bu yolakların ilki işitsel-motor işlevler ve ikincisi sözdizimsel olarak kompleks yapılar ile ilgili görülmektedir (Friederici ve Gierhan 2013).

Frontal ve temporal korteksler en az iki ventral yolak ile, unsinat fasikül (UF) ve inferiyor fronto oksipital fasikül (IFOF) aracılığıyla bağlanmaktadır (Friederici 2018). Anteriyor IFG ile anteriyor temporal girus arasındaki bağlantı UF ile sağlanmaktadır (Friederici ve ark. 2006). Posteriyor frontal alanlar ise beynin posteriyor kısımları, posteriyor temporal ve oksipital alanlar ve pariyetal kortekse IFOF yoluyla bağlanmaktadır (Powell ve ark. 2006; Sarubbo ve ark. 2011). Anteriyor IFG'nin (BA45/47) özellikle semantik süreçleri desteklediği, frontal operkulumun sözdizimsel işleme ile ilgili olduğu uzun zamandır literatürde yaygın olarak desteklenen bulgulardır (Vigneau ve ark. 2006). BA 45/47, cümle ve sözcük seviyesinde leksikal-semantik işleme, semantik kategorilendirme gibi süreçlere özellikle katılmaktadır. Bunun yanında, STG ve MTG ile AG'nin semantik işlemede önemli olduğu düşünülmektedir (Friederici 2018). Primer progresif afazi hastalarında IFOF bağlantısalığının semantik işleme ile ilişkisi gösterilmiştir (Galantucci ve ark. 2011; Rolheiser ve ark. 2011). Özellikle anteriyor IFG ile anteriyor temporal girus arasında UF ile sağlanan bağlantı, cümlelerdeki lokal ifade yapılarının kurulması ile ilgili olarak görülmektedir (Friederici ve Gierhan 2013; Friederici 2018). Bu çıkarımlara göre, IFOF daha çok semantik işleme ve anlama ile ilgili olarak ele alınırken, UF ise tersine, basit sözdizimsel işlemler ile daha fazla ilintili olabilir (Friederici ve Gierhan 2013). Böylelikle, dil işlemede genel olarak, ilki işitsel-motor fonksiyonları ve ikincisi karmaşık sözdizimsel yapıları destekleyen iki dorsal yolak ile, biri semantik diğeri basit sözdizimsel cümlelerin işlenmesini desteklediği düşünülen iki ventral yolak tanımlanmıştır.

2.4. Sözdizimsel işleme

Bir cümleyi anlamak, cümledeki kelimeler ve ifadeler arasındaki yapısal ilişkileri tanımlayarak gerçekleşir (Fiebach ve ark. 2005). Bir cümlemin sözdizimsel yapısı, fiilin farklı argümanlarına dilbilgisel işlevler ve tematik roller atayarak, “kimin,

kime, ne yaptığını” gösterir (Fiebach ve ark. 2005). Sözdizimsel işleme sistemi, sözdizimsel yapı oluşturma olarak adlandırılan bir süreci içerir. Bu süreçte, algılanan kelimeler mümkün olduğunca hızlı bir şekilde cümlelere atanır, ifadeler arasındaki hiyerarşik ilişkiler belirlenerek cümlelerin yapısı aşamalı olarak yeniden yapılandırılır (Fiebach ve ark. 2005). Taşıma (movement) ve bağlama (binding) sözdizimsel yapıları, pek çok dilde bulunan, özellikle literatürde çok sayıda çalışmanın gerçekleştirildiği süreçler olarak öne çıkmaktadır (Makuuchi ve ark. 2013).

2.4.1. Taşıma

Taşıma sözdizimsel yapısı, cümle içinde bir üyenin konumunun değişmesini ifade eder (Chomsky 1993). Zorunlu ve zorunlu olmayan durumlarda taşıma gerçekleşebilir (Sebzecioğlu 2008; Hirik 2019). Örneğin, bir cümlelerin edilgen duruma getirilmesinde, Türkçede nesne konumundaki kelimenin özne konumuna taşınması gerekmektedir (örneğin, “Ayşe evi temizledi” cümlesi, “Ev temizlendi” olarak edilgen olmaktadır). Taşınan öge, sözdizimsel yapıda iz (trace) olarak adlandırılan bir boşluk ya da sesletilmeyen kopya bırakmaktadır (Sebzecioğlu 2008). Taşıma yapısı, cümle içinde taşınan öğenin konumuna göre kısa ve uzun aralıklı olarak görülebilir (Hirik 2019).

2.4.2. Bağlama

Bağlama kuramı, gönderge, adılısı veya gönderimsel anlatımda yer alan gönderimsel özellikleri düzenler (Kuram 2006). Chomsky (1965), “yönetim ulamına” göre, ad öbekleri olan gönderge (anaphor), g-(önderimsel) anlatım (r-(eferential expression), adılısı (pronominal) şeklinde birimler bulunur. Bu kurama göre, ad öbeği, sözdizimsel alanda, bir baş veya öncül tarafından yönetilmektedir (Chomsky 1965). Bu bağlama kurallarına göre, yönetim ulamında bağlı bir gönderge olurken, adılısı bunun dışında bağlı olmalıdır. Son olarak, g-(anlatım) özgür olarak bulunmaktadır. Türkçede, “kendisi” adılısı, gönderge olarak yer aldığı cümlelerde sözdiziminde bağlanma ilişkileri oluşturmaktadır. Örneğin, “Ben, Ayşe’ye kızın partide sürekli kendini anlattığını söyledim” cümlesinde, “kendini” göndergesi, dilbilgisel olarak, cümledeki “kız” ad öbeği olarak yorumlanır. “Ben, Ayşe’ye kızın partide sürekli onu anlattığını söyledim” cümlesinde onu” adılısı, kendisi ile aynı cümlede yer alan “kız” ad öbeği ile eş dizinli şekilde yorumlanamaz, çünkü adılısının yönetim ulamı dışında yer alması gerekmektedir.

2.4.3. Sözdizimsel işleme süreçleri ve sözel çalışma belleği

Sözel çalışma belleği ve dil işleme alanlarında gerçekleştirilmiş nörogörüntüleme çalışmalarında, beyinde bu işlemlere katılan alanların rolleri ve farklılıkları incelenmiştir. Özellikle, Broca alanının rolüne ilişkin çalışmalar dikkat çekmektedir (Friederici 2017). Dil işleme ile sözel çalışma belleğine ilişkin “genelleyici yaklaşım” olarak ifade edilen görüşe göre, Broca alanı genel olarak sözel çalışma belleğinde yer alır (Santi ve Grodzinsky 2007). Sözdizimsel olarak karmaşık yapıdaki cümle işlenmesinde çalışma belleği kapasitesi gereklidir (Cooke ve ark. 2001; Wager ve Smith 2003). Broca alanında gözlenen sözdizimsel karmaşıklık etkilerinin çalışma belleği yüküne bağlı olabilmesi nedeniyle, sözdizimsel bir çalışma belleği sağladığı görüşü ileri sürülmüştür (Caplan ve Waters 1999). Bunun karşın, bu etkinin fonolojik çalışma belleği üzerinden gerçekleştiğini öne sürenler (Rogalsky ve ark. 2015) olsa da Broca alanında görülen sözdizimsel karmaşıklık etkisi genellikle fonolojik çalışma belleğine dahil edilmemektedir (Santi ve ark. 2015)

Broca alanının sözel çalışma belleğine katılımını temel alan görüşlere karşın, “özülcü yaklaşım” bu alanın pek çok kognitif işlevi yerine getiren birimlerden oluştuğu, çalışma belleğinin yanı sıra, sözdizimsel olarak cümlelerin çözümlenmesi ile ilgili rolü olabileceğini öne sürmektedir (Santi ve Grodzinsky 2007). Alt alanların farklı dilsel yapıların işlenmesi konusunda özelleştiği ileri sürülmektedir. Örneğin, BA 44 alanının sözdizim yapısının kurulmasıyla, BA 44/45’in taşıma ya da konusal rollerin yüklenmesi işlemiyle ilişkili olduğu belirtilmiştir (Friederici 2017). Genel olarak, dil işlemede Broca alanının aktive olduğu çeşitli nörogörüntüleme çalışmalarında gösterilmiştir (Ben-Shachar ve ark. 2003; 2004; Santi ve Grodzinsky 2007). Bunun yanında, sözdizimsel işleme süreçlerinde Broca dışında aktivasyon alanlarına dair bulgular da bulunmaktadır. Bu alanlar arasında özellikle Wernicke alanı, STG ile posteriyor parietal korteks öne çıkmaktadır (Santi ve Grodzinsky 2007).

fMRG çalışmalarında, sözdizimsel ve sözel çalışma belleği arasındaki ilişki, çalışma belleği yükü ve sözdizimsel karmaşıklık etkileri çerçevesinde incelenmiştir. Bu çalışmalarda, çalışma belleği yükü, cümlede yer alan özneye ilişkin eylem arasındaki mesafe şeklinde belirlenmiş, sözdizimsel karmaşıklık ise hiyerarşik olarak yerleşme sayısı şeklinde tanımlanmıştır (Makuuchi ve ark. 2009). Makuuchi ve ark. (2013) çalkalama ve taşıma sözdizim yapıları arasındaki ayrımı inceledikleri çalışmalarında, iki

sözdizimsel tür arasında benzer bir nöral temel ortaya çıkarmışlardır. Buna göre, bu sözdizim, sol IFG, MTG ile intraparietal sulkus (IPS) tarafından desteklenmektedir. Bir başka çalışmada, Santi ve ark. (2015), sözdizimsel taşıma sayısı ile Broca alanı aktivasyonu arasındaki ilişkiyi araştırmış ve sol IFG aktivasyonunu etkilediğini gözlemişlerdir. Taşıma üzerindeki çalışma belleği yükü etkisini inceledikleri çalışmada Rogalsky ve ark. (2015), sol STG ve MTG’de bu etkiyi gözlemişlerdir. Taşıma yapısını içeren cümlelerde, içermeyenlere göre, sol orta frontal girus (MFG), lingual ve presantral girus alanlarda taşıma ile çalışma belleği yükü arasında etkileşim ortaya çıkmıştır. Çalışmada, taşımanın Broca dışı alanlarda, fronto-temporal bir ağ yapısında aktivasyona yol açabileceğini göstermişlerdir. Sonuç olarak, literatürde dil işleme ve sözel çalışma belleğinin ilişkisinde sözdizimsel yapıların rolü ve nöral karşılıklarına dair farklı görüşler bulunmaktadır. Sözdizimsel işlemlemeye ilişkin genellikle İngilizce ve Almancada gerçekleştirilen çalışmalar, özellikle sol IFG ve temporo-parietal alanları öne çıkarmaktadır.

2.5. Beyinde özelleşmiş sistemler ve sözel çalışma belleğine sensorimotor yaklaşım

Yakın zamanlı kognitif nörobilim araştırmaları çalışma belleğinin tek bir sistem olarak değerlendirilmesinden çok, frontal kontrol sistemleri ile özelleşmiş daha posteriyor sistemler arasındaki koordinasyondan kaynaklandığını desteklemektedir (Reuter-Lorenz ve Jordan 2021). Özelleşmiş sistemler, söz konusu işleme türü ve modaliteye yönelik farklılık gösterebilmektedir. Bunlar, duysal-algısal, sözel-semantik ve sensorimotor sistemler olabilir (Reuter-Lorenz ve Jordan 2021). Çalışma belleği performansını destekleyen temsiller beyinde yüksek seviye prefrontal, parietal, temporal asosiyasyon alanları ile düşük seviye ünimodal işitsel, görsel, motor kortikal alanlara yayılmıştır (Reuter-Lorenz ve Jordan 2021). Çalışma belleğinde tutulan bir sözcük, duysal-algısal özelliklerinin temsil edilmesini aktif etmektedir. Uyarının fonolojik özellikleri STG’de, işitsel-motor entegrasyonu ise temporo-parietal kortekste ve motor-artikülatuar temsilleri ise ventral prefrontal kortekste (PFC) gerçekleşmektedir. Bunun yanında, anlamın işlenmesinde semantik sistemin rolü söz konusudur. Çalışma belleği, beyinde hiyerarşik olarak yayılmış bir sistem çerçevesinde, asosiyasyon alanları ve ünimodal kortikal alanların farklı fonksiyonel roller almalarını sağlamaktadır. Posteriyor alanlar farklı özellikteki uyaranları temsil edebilirken, frontal alanlar hedef, eylem ve kural planları ile ilgili olup, daha yüksek

seviyeli, modaliteler arası, soyut bilginin kodlanmasında rol oynamaktadır (Reuter-Lorenz ve Iordan 2021).

Sözel modalitede, sözel çalışma belleği ve dil devreleri arasında örtüşmeler öne çıkmaktadır. Dil ağının temel sensorimotor alanları aynı zamanda sözel çalışma belleği için de önemlidir. Buchsbaum ve D'Esposito'nun (2019) sensorimotor sözel çalışma belleği görüşüne göre, fonolojik döngü işitsel ve motor konuşma sistemlerini bağlayan bir ağ tarafından gerçekleştirilmektedir. Buchsbaum ve ark. (2001; 2005) fMRG ve transkranyal manyetik uyarmı çalışmalarında fonolojik bir materyalin sessiz olarak tekrarlanması, tutarlı biçimde Sylvian-pariyetal-temporal (Spt) alanda etki oluşturduğunu gözlemişlerdir. Spt, akustik ve motor konuşma temsilleri arasında bir arayüz görevi görmektedir (D'Esposito 2007; D'Esposito ve Postle 2015). Çalışma belleği yüküne duyarlılık göstermekte ve fonemik bilgiyi kodlamaktadır (Buchsbaum ve ark. 2011; Buchsbaum ve D'Esposito 2019). Bu yaklaşıma göre, sözel çalışma belleği karmaşık dil algısı, anlama ve üretimi için gereken duysal-motor süreçlerden kaynaklanmaktadır (Buchsbaum ve D'Esposito 2019). Fonolojik döngü, STG, Spt ve motor artikülasyon ile ilintili frontal korteks alanları (özellikle BA 44) arasındaki bir ağda, koordineli aktivite ile gerçekleştirilmektedir (Buchsbaum ve D'Esposito 2019). Sensorimotor görüşün belirgin bir özelliği, özgül bir depolama sistemini öne sürmemesidir. Buna karşın, sensorimotor yaklaşıma göre sözel çalışma belleğinde bilginin tutulması, frontal-motor ve posteriyor işitsel asosiyasyon alanları arasındaki eksitatuvar döngülere dayanıyor olabilir (Buchsbaum ve D'Esposito 2019). Yaklaşımın temel aldığı varsayım, bir sistemdeki her bir modülde (örneğin; işitsel, işitsel-motor, motor-artikülatur) yerel nöral temsillerin kısa süreli olarak sürdürülmesini sağlayan nörofizyolojik mekanizmaların varlığıdır (Buchsbaum ve D'Esposito 2019). Sistemin kapasitesi, bölgeye özgü depolardan değil, bir ağa yayılmış olarak, her bir bileşenin kolektif biçimde katkı yapması ile belirlenmektedir.

Özetle, kognitif nörobilimdeki yakın zamanlı eğilim, bilginin kısa süreli olarak tutulabilme becerisini, nörobiyolojik bir olay olarak ele alırken, çalışma belleğini bir davranış sınıfı olarak görme yönündedir (Buchsbaum ve D'Esposito 2019; Reuter-Lorenz ve Iordan 2021). Bu yaklaşıma göre, kısa süreli olarak bilginin tutumu, bir beyin devresinin entrensek özelliği olarak ele alınmaktadır. Bu entrensek özellik, uyarana ilişkin nöral temsillere kısa süreli bir ulaşımı içerir. Çalışma belleği, bilginin kısa süreli

olarak akılda tutulmasını barındıran bir davranış olup, ayrıca algı, dikkat, inhibisyon gibi süreçler ile de ilgilidir. Buna göre, Reuter-Lorenz ve Iordan (2021), çevrede halen var olmayan bir duysal bileşenin kısa süreli olarak tutulmasına dayanarak aktive olan duysal temsili çalışma belleği olarak değerlendirmektedir. Sonuç olarak, çalışma belleğine beynin entrensek bir özelliği olarak yaklaşan, farklı ağ sistemleri ile etkileşimine odaklanan, belirli bir depolama veya tampon sistemi önermeyen görüşler söz konusudur.

2.6. Entrensek bağlantısallık ağları

fMRG'nin temelinde, kan-oksijen-seviyesine bağlı (blood-oxygen-level dependent, BOLD) etki yer almaktadır (Chappell ve ark. 2017 pp. 19-20). BOLD sinyali, dolaylı olarak, metabolik ihtiyaca bağlı olarak değişen nöral aktiviteye duyarlıdır. Bu metabolik talep, nöral aktivitenin artmasıyla lokal kan hacminde ve akımında artışa yansır. Ortamda deoksihemoglobine kıyasla oksihemoglobin içeren kan artar (Chappell ve ark. 2017 pp. 19-20). Deoksihemoglobin konsantrasyonundaki azalma ile ortaya çıkan manyetik alan homojenliğindeki değişim, BOLD sinyalinin temelini oluşturan unsurdur. Ödev temelli fMRG çalışmalarında, belirli ödevlerin gerçekleştirilmesi sırasında oluşan aktivasyonlar, herhangi bir ödev gerçekleştirilmeyen zaman periyodu olan dinlenme dönemine göre, ayrıca deneysel koşullar arasında kıyaslanabilir. Deney koşullarından elde edilen vokseller bazında BOLD zaman serileri regresör olarak alınarak kıyaslanabilir. Bunun yanında, fonksiyonel bağlantısallık analizleri ile, aralarında ilinti gösteren beyin bölgeleri tespit edilebilir.

Dinlenme durumu fMRG ise herhangi bir ödev olmaksızın, gözler açık veya kapalı olarak gerçekleştirilmektedir. İnsan beyni, toplamda vücudun %2'si kadar ağırlığa sahipken, belirli bir görev yapmaksızın, vücut tarafından üretilen enerjinin yaklaşık %20'sini tüketmektedir (Bijsterbosch ve ark. 2017 pp.1-6). Beynin dış uyaranlara yönelik bir işlem olmaksızın, entrensek aktivitesine yönelik ilgi, yaklaşık son 25 yılda nörogörüntüleme çalışmaları arasında gelişmiştir. Shulman ve ark. (1997) serebral korteksteki bazı alanların, çeşitli yeni, kendilik ile ilgisi olmayan, hedef odaklı ödevlerin uygulanışı sırasında, gözlerin kapalı olduğu, bir ödev yapılmadığı veya bir fiksasyon noktasına bakılmasından oluşan dinlenme dönemlerine göre aktivitesini azalttığını gözlemiştir. Bununla birlikte, Raichle ve ark. (2001) gerçekleştirdiği pozitron emisyon tomografisi çalışmasında, tutarlı olarak dinlenime göre ödev koşullarında

aktivitesini azaltan bu alanlar olağan durum ağı (default mode network, DMN) olarak tanımlanmıştır. Ödev koşulunda dinlenime göre daha düşük aktivasyon, diğer bir deyişle, “deaktivasyon” gösteren alanların belirlenmesinin yanında, fonksiyonel bağlantısallık analiz yöntemleri ile aralarında koherans gözlenen beyin bölgelerini ortaya çıkarmak mümkündür (Bijsterbosch ve ark. 2017 pp. 48-52). Dinlenim durumunda, DMN dışında, bir ödev olmasa da tutarlı olarak aralarında korelasyon gözlenen yapılar belirlenmiştir. Örneğin, herhangi bir motor ödev koşulu olmaksızın, dinlenim durumunda sağ ve sol motor kortekslerin, benzer şekilde, görsel alanların, görsel bir uyarı olmasa da korelasyon gösterdiği bilinmektedir (Buckner ve ark. 2013; Guerra-Carrillo ve ark. 2014). Böylelikle, dinlenim durumunda da topografisi ödev koşullarında gözlenene benzer olan, senkronize, entrensek bağlantısallık gösteren alanlar, ağlar altında gruplanmıştır. Dinlenim durumu ağları olarak da adlandırılan entrensek bağlantısallık ağları (intrinsic connectivity networks, ICN) tanımlanmıştır.

Kognitif nörobilimde son yıllarda nörogörüntleme çalışmalarından edinilen bulgular sonucunda beyin birbiri ile etkileşim içinde olan ağlar sistemi olarak ele alınmaktadır (Power ve ark. 2011). ICN’ler, ayrı bileşenler olarak, dinlenim durumunda aralarındaki korelasyon ile tespit edilebilirken, çeşitli ödev koşullarında aktivite veya bağlantısallıklarında değişimler ile aralarındaki etkileşimler ortaya konabilir. Literatürde, kognisyon, emosyon, duysal ve motor fonksiyonlar ile ilgili, belirli geniş ölçekli ağlar tanımlanmıştır. ICN’lere ilişkin ağ isimleri, tanımlamaları ve anatomik örüntüleri, çalışmanın kapsamına, yöntem ve amacı ile bağlamına göre değişiklikler gösterebilmektedir. Başlıca tanımlanmış ve literatürde tutarlı olarak çalışmalarda yer alan ICN’ler aşağıdaki bölümde özetlenmiştir. Aşağıda yalnızca belirli kortikal ve subkortikal yapılarına değinilen bu ICN’lere, serebellumun farklı alanlarının katılım gösterdiğine, fonksiyonel olarak eşleşen serebellum bileşenlerine dair bulgular yaygınlaşmaktadır (Habas ve ark. 2009; Sang ve ark. 2012; Buckner ve ark. 2013; Ulaşoğlu Yıldız 2017).

2.6.1. Olağan durum ağı

Bazı beyin bölgelerinin ödev koşullarında aktivasyonlarını tutarlı olarak azalttığına ilişkin gözlem, beyinde entrensek, süre giden aktiviteye ilişkin bir organizasyon olabileceği yönünde yorumlanmıştır (Raichle ve ark. 2001; Raichle 2015). Beynin olağan durum fonksiyonu olarak ele alınan bulgular, DMN ağının

tanımlanmasını beraberinde getirmiştir. DMN'nin majör alanları, ventral PFC, dorsal MPFC, posteriyor singulat korteks (PCC) ve komşu prekuneus (PCu) ile lateral pariyetal alanlardan oluşmaktadır (Raichle 2011; 2015). Bunun yanında, lateral temporal alanlar, parahippokampal alanlar da DMN'nin bölgeleri arasına dahil edilebilmektedir (Bijsterbosch ve ark. 2017 pp.4-6). DMN'nin içsel süreçlere yönelik mental aktiviteler, emosyonel işleme, önceki deneyimlerin hatırlanması gibi fonksiyonları genellikle öne çıkan çalışma alanlarıdır (Raichle 2015). DMN'ye ilişkin ile genellikle bu konulardaki çalışmalardan edinilen bulgular çeşitli psikopatolojiler ve nörolojik bozukluklar ile ilişkilendirilmiştir. Özellikle dinlenim durumunda gerçekleştirilen fMRG çalışmaları, DMN'nin fonksiyonel bağlantısallığını çeşitli nörolojik ve psikiyatrik bozukluklar çerçevesinde ele almıştır (Sylvester ve ark. 2012; Klöbl ve ark. 2020) . DMN'nin tutarlı olarak dışa yönelmiş, hedef odaklı dikkat koşullarında deaktivasyon göstermesi ile ödev pozitif ICN'ler ile antikorelasyonu, ödev negatif bir ağ olarak tanımlanmasına yol açmıştır (Fox ve ark. 2005; Di ve ark. 2014). Bununla birlikte, DMN'nin, içe yönelmiş dikkat ve bellek süreçlerine katılımı, çeşitli ödevlerde aktivasyon ve fonksiyonel bağlantısallık analizlerinden edinilen bulgular ile yaygın olarak ele alınmıştır (Wen ve ark. 2020). Ancak, giderek artan sayıdaki nörogörüntüleme çalışması ile DMN'nin çeşitli ödev koşullarına katılımına, örneğin, kognitif veya çevresel bağlam kodlaması gibi rollerine ilişkin çıkarımlar yaygınlaşmaktadır (Crittenden ve ark. 2016; Smith ve ark. 2018; 2019). DMN'nin, bir ödevin detaylarından bağımsız olarak, yüksek bir temel seviye bir entrensek aktiviteye sahip olduğu düşünülmektedir. Buna göre, söz konusu ödevin gerekliliklerinin sağlanması için DMN'nin fonksiyonları kapatılmaz, ancak aktivitesinde küçük değişimler gerçekleşir (Raichle 2015).

2.6.2. Frontopariyetal ağ ve yürütücü kontrol ağı

Yürütücü kontrol, insanların davranışlarını esnek olarak adapte etmelerini, hedeflerine çoklu zamansal düzlemde ulaşmalarını sağlayacak şekilde nöral işlemleri yönlendirmeye olanak veren bir dizi işlemi kapsar (Gratton ve ark. 2018). Bu fonksiyona yönelik alanları kapsayan, literatürde frontopariyetal (FPN) ve benzer olarak yürütücü kontrol (ECN) ya da kısaca kontrol ağı (CONT) tanımlanmıştır (Gratton ve ark. 2018). FPN hedef odaklı davranışın gerçekleştirilmesinde önemlidir. Bilateral olarak, lateral PFC, PCu, anterior IPL, MPFC ve anterior insula (aINS) alanlarını

kapsar (Vincent ve ark. 2008; Spreng ve ark. 2013). Seeley ve ark. (2007) tarafından tanımlanan ECN ile genel olarak tutarlılık göstermektedir (Spreng ve ark. 2013). Yürütücü kontrol işlemlerine ihtiyacın yüksek olduğu durumlarda, FPN'nin diğer ağlara göre, dinamik değişiminin daha fazla olduğu, ödevler arasında hızlı set değiştirmeye katıldığı gösterilmiştir (Cole ve ark. 2013; Marek ve Dosenbach 2018). Hızlı ve anlık yeni ödev durumlarına geçiş sırasında esnek olarak diğer kontrol ağları ile etkileşim göstermektedir (Marek ve Dosenbach 2018). Kognitif kontrol, başlıca kontrol ağları olarak kabul edilen FPN/CONT , dikkat çekerlik ağı (salience network, SAL) ve singulooperkular ağ (cingulo-opercular network, CON) arasındaki etkileşimler ile gerçekleşmektedir (Marek ve Dosenbach 2018).

2.6.3. Dikkat çekerlik ağı

Seeley ve ark. (2007), davranış ve düşüncenin yönlendirilmesinde önemli iki ayrı ICN tanımlamışlardır. Biri yürütücü kontrol işlevleri ile ilgili ECN, diğeri ise paralimbik emosyonel işleme ilgili olan SAL'dır. SAL, özellikle dikkat çekici, davranışsal olarak önemli uyaran tespitinde rol oynar (Menon 2015). SAL'a dahil edilen başlıca alanlar, aINS ve dorsal anterior singulat korteks (dACC) olarak gözlenmiştir (Menon 2015). Ayrıca, amigdala, hipotalamus, ventral striatum ve beyin sapı çekirdeklerine de yayılabilir (Seeley 2019). Dikkat çekici olaylar ve uyaranlar, sürpriz, beklenmedik, emosyonel olarak angaje olunması önemli, kendilik ile ilişkili olarak öne çıkmaktadır (Menon 2015). SAL homeostatik uyumluluğu önceleyen bir işleve sahip olarak görülürken (Seeley 2019), emosyonel, sosyal, kognitif pek çok davranışın yanı sıra, dikkat ve çalışma belleğinde de önemlidir (Sridharan ve ark. 2008). Çalışma belleği ve dikkat kaynaklarına erişimde, dikkat çekici bir olay tespit edildiğinde önemli rol oynar. SAL, geniş ölçekli beyin ağlarından dışa yönelik dikkat ile içe yönelik dikkat süreçleri arasında değişim yapılması sürecine katılmaktadır (Sridharan ve ark. 2008). Bu bağlamda, özellikle CONT ile DMN arasındaki geçişte önemli olduğu düşünülmektedir. SAL, CONT alanlarını devreye sokarak, ödev kontrol alanları ile kognitif setin sürdürülmesini ve çalışma belleğinde bilginin manipüle edilmesine yardımcı olur (Menon ve Uddin 2010; Seeley 2019).

2.6.4. Singulooperkular ağ

CON, kognitif kontrole katılan başlıca ağlardan biri olarak görülmektedir (Cole ve Schneider 2007; Dosenbach ve ark. 2008). Kognitif kontrol ile ilgili süreçler,

uyarana dikkat edilmesi, yanıtı hazırlama ve başlatma ile geri bildirim adaptasyon olarak sıralanabilir (Cole ve Schneider 2007; Coste ve Kleinschmidt 2016). Bu nedenle, hedef odaklı davranışta, mental kaynakları esnek biçimde yönlendirmek önemlidir. CON, genel olarak, bir ödev sırasında algısal ve dikkate ilişkin bilginin sürdürülmesi ve uygulanması süreçlerine katılır (Dosenbach ve ark. 2008). CON'un, ödevlerde hedef belirleme, sürdürme ve yanıtın hazırlanması ile başlatılmasında tutarlı ve süreklilik gösteren aktivasyonu gözlenmiştir (Dosenbach ve ark. 2007; 2008). CON'un kapsadığı, frontal operkulum, medyal süperiyör frontal korteks, dACC ve frontal alanlar ile aINS alanları ve talamus esnek kognitif beceriler olan karar verme, planlama, hedef ve hata belirlemesi gibi süreçlere katılmaktadır (Coste ve Kleinschmidt 2016). Dosenbach ve ark. (2006) CON'u tanımlamalarından yakın zaman sonra Seeley ve ark. (2007) tarafından ileri sürülen SAL, dACC, aINS ve subkortikal, limbik alanlar ile CON'a benzer bir örüntüdedir (Seeley 2019). Bu nedenle, iki ağ arasında ayrım gözetilmeyen çalışmalar yaygındır (Gratton ve ark. 2018). Ancak, beyin ağlarının belirlenmesinde veri güdümlü yaklaşım, lokalizasyonu örtüşen CON ve SAL arasında bazı ayrımlar gösterebilmektedir. CON ve SAL arasındaki anatomik ayrımlar, aINS ve medyal frontal kortekste, CON'un daha dorsal, SAL'in ise daha ventral/rostral alanları kapsadığını göstermektedir (Power ve ark. 2011; Gratton ve ark. 2018). aINS'in farklı ağlara ilişkin birleşim bölgesi olmasının yanı sıra, CON ve SAL arasındaki ayrım histolojik olarak da görülmektedir (Spreng ve ark. 2013; Gratton ve ark. 2018). Ventral aINS ile medyal frontal alanlarda von Economo nöronları öne çıkmaktadır (Gratton ve ark. 2018). Bu nöronlar, hızlı ileten aksonlar içerirken, hominidlerde zenginleşmiş olup kendilik farkındalığı ile afektif fonksiyonlar ile ilgilidir (Seeley ve ark. 2012). SAL'ın kapsadığı alanlar bu nöronların bulunduğu ventral alanlar olarak düşünülmektedir. Buna karşın, CON, belirli bir davranışsal veya kognitif kurulumda kalınmasını tonik uyanıklığı sağlayarak gerçekleştiriyor olabilir (Sadaghiani ve ark. 2010; Seeley 2019). Bazı ödevlerde, ödev koşullarına ilişkin bağlam değerlendirildiğinde, aktivasyonlar veya bağlantısallıklar, SAL veya CON'dan biri ile daha fazla uyumluluk gösterebilir. CON ve SAL'ın ayrı ilgi bölgeleri ile tanımlandığı (Power ve ark. 2011) çalışmalar da görülmektedir.

2.6.5. Dorsal dikkat ağı

Corbetta ve Shulman (2002), insan beyinde anatomik ve fonksiyonel olarak ayrılan iki dikkat sistemi arasındaki ayrımı belirtmişlerdir. Bunlardan biri yukarıdan-aşağı dikkat süreçlerini yöneten, istemli dikkat yönlendirmesini sağlayan dorsal, diğeri uyarıcı güdümlü dikkati yöneten ventral frontopariyetal sistem olarak belirlenmiştir (Vossel ve ark. 2014). Dorsal dikkat ağı (dorsal attention network, DAN), hedef odaklı dikkat ile uyarana yönlendirilen dikkati sağlar (Szczepanski ve ark. 2013). Bilateral olarak öne çıkan DAN, başlıca IPS, süperiyör parietal lobul (SPL), frontal göz alanları ve premotor alanları kapsar (Corbetta ve ark. 2008; Vossel ve ark. 2014). DAN, özellikle dışa yönelik dikkati yönlendiren bir ağ olarak, DMN ile tipik olarak antikorelasyon gösterir (Fox ve ark. 2005; Szczepanski ve ark. 2013). Dikkat sistemleri genellikle görsel-mekansal modalitedeki ödevlere ilişkin bulgular ile ele alınmış olsa da işitsel, taktil gibi diğer modalitelerde bu sistemlerin benzer etkileri olduğuna dair kanıtlar, supramodal özellikte olabileceğini düşündürmektedir (Macaluso 2010; Vossel ve ark. 2014). Örneğin, DAN'ın çalışma belleği süreçlerine görsel-mekansal, sözel, motor gibi farklı ödev koşulları ve modalitelerde, tutarlı olarak rol oynadığı gözlenmiştir (Majerus ve ark. 2012; Majerus 2017).

2.6.6. Ventral dikkat ağı

Ventral dikkat ağı (ventral attention network, VENT) sağ hemisfer baskınlığına sahip olup ventral frontal korteks (VFC), temporo-parietal bileşke (temporo-parietal junction, TPJ), bölümlerini kapsar (Corbetta ve ark. 2008). DAN'ın tersine, uyarıcı güdümlü dikkat sistemidir. Özellikle uyarana yönelik sürdürülen bir dikkat süreci olmadığında, uyarının tespit edilebilmesini sağlar (Corbetta ve ark. 2008). Normal algı süreçleri sırasında, VENT, DAN ile dinamik olarak etkileşim halindedir; böylelikle, neye ve nereye dikkat edilmesi, algılanması gerektiği belirlenebilir ve gerçekleştirilebilir (Corbetta ve ark. 2008).

ICN'lerin belirlenmesinde çalışmalar arasında farklı tanımlamalar ve bölütleme uygulamaları görülmektedir. Örneğin, Schaefer ve ark. (2018) çalışmasında 7 ağa ilişkin kortikal 100 parselik parselasyonda SAL ve VENT arasında ayrım yapılmamış, tek bir ağa dahil edilmiştir (dikkat çekicilik/ventral dikkat ağı, SAL/VENT).

2.6.7. Somatomotor ađ

Biswal ve ark. (1995), dinlenim durumunda başlıca sağ ve sol motor korteksler olmak üzere, hareket ile ilgili alanlar arasında senkronize aktivite gözlemlemiştirler. Bu alanlar, motor bir ödev sırasında aktivasyon gösteren alanlar ile örtüşmektedir. Bilateral primer somatoduyusal ve motor korteksler ile suplementer motor alana (SMA) doğru yayılan bölgeler genel olarak somatomotor ağı (somatomotor network, SMN) oluşturur (Guerra-Carrillo ve ark. 2014). Motor işlemlerde, motor imajinasyonda ve motor beceri öğrenme sonucunda aktivasyonu, ayrıca ödev sırasında ve dinlenim durumundaki bağlantısalılığı değişebilmektedir (Ma ve ark. 2011; Gregory ve ark. 2014; Ge ve ark. 2015).

2.6.8. Görsel ađ

Görsel ađ (visual network, VIS), bilateral olarak lateral ve medyal olmak üzere iki ana bölüme ayrılabilir. Görsel-mekansal dikkat gereken ödevler sırasında aktive olur (Shen ve ark. 2019). Kalkarin sulkusta bulunan primer görsel alanlar ile lingual girus gibi ekstastriat alanlar medyal görsel kortikal bölgeleri oluşturur. Buna ek olarak, inferior PCu ve lateral genikulat nukleusu kapsamaktadır (Beckmann ve ark. 2005). Lateral görsel kortikal alanlar ise oksipital kutup, oksipito-temporal bileşke ve sekonder görsel alanları kapsar. Bununla birlikte, SPL'nin dorsal bölümleri de dahil edilebilir (Beckmann ve ark. 2005; Shen ve ark. 2019).

2.6.9. İşitsel ađ

İşitsel ađ (auditory network, AUD) bölgeleri, primer ve sekonder işitme kortekslerini kapsar. Heschl girusu, planum temporale ve planum polara ile STG'nin lateral kısımları ve posteriyor insular korteks bu ağa dahil olan yapılar arasındadır (Rademacher ve ark. 2001; Beckmann ve ark. 2005).

2.6.10. Dil ağı

Sol hemisfer baskınlığı gösteren perisylvian dil ağı, Broca ve Wernicke alanları ile uzun zamandır tanımlanmıştır (Braga ve ark. 2020). Ancak, ayrı bir ICN olarak genellikle çalışmalarda yer almamaktadır (Ji ve ark. 2018). Dil ağını özellikle ele alan çalışmalarda genellikle IFG (BA 44/45) ve posteriyor STG olarak tanımlanmıştır (Price 2010; Braga ve ark. 2020). Premotor ve motor alanlar ile işitsel ve görsel alanlar da dil

işlememeye katılan yapılar olduğu için, genel olarak diğer ağ alanları ile etkileşim söz konusudur (Braga ve ark. 2020).

2.6.11. Limbik ağ ve bellek ağı

Bazı çalışmalar, limbik ağ (LIM) veya bellek ağı olarak tanımlanan ICN'leri kapsamaktadır (Power ve ark. 2011, Schaefer ve ark. 2018). Başlıca, bellek ve emosyonların işlenmesi ile ilgili medyal temporal alalar, hippocampus, parahippokampal girus ile ek olarak amigdala ve striatum öne çıkmaktadır (Power ve ark. 2011; Curcic-Blake ve ark. 2016). Kortikal parselasyonlarda da limbik ağa dahil edilen parseller görülmektedir. Örneğin, Schaefer ve ark. (2018) çalışmasında temporal kutup ve orbitofrontal kortekste (OFC) yer alan parselleri LIM'a dahil etmiştir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Katılımcılar

Çalışmaya, yaş ortalaması 24,2 ($\pm$ 3,9) olan, 18'i kadın 32 sağ eli, nörolojik olarak sağlıklı katılımcı dahil edildi. Katılımcılar, en az lisans öğrenimini sürdürmekte olan, en çok doktora düzeyinde öğrenim seviyesine sahip gönüllülerden oluştu. Araştırmaya katılma ve dışlama kriterleri aşağıda listelenmiştir.

Araştırmaya dahil edilme kriterleri:

- Anadilinin Türkçe olması,
- Sağ eli olması,
- 18-35 yaş aralığında olması,
- En az lisans düzeyinde öğrenim görmekte veya görmüş olması,
- Düzeltilmiş ya da normal görmeye sahip olması.

Araştırmadan dışlama kriterleri:

- Türkçe dışında başka bir anadili daha olması,
- Nörolojik veya psikiyatrik bir rahatsızlığı bulunması,
- Merkezi sinir sistemini etkileyen bir ilaç kullanıyor olması,
- Vücudunda MRG kaydı için uygun olmayan bir parça bulunması (implant, kalp pili, protez, intrakardiyak kateter gibi),
- Araştırmada kullanılacak ödevlerin uygulanmasını engelleyecek düzeyde görme ya da işitme bozukluğuna sahip olması,
- Kalp ya da solunum yetersizliği, ciddi düzeyde kalp ritmi bozukluğu olması,
- Kapalı alanda kalma korkusu olması,
- Bilinç kaybının bulunduğu kafa travması öyküsü olması.

Verilerinde aşağıda fMRG veri analizi bölümünde belirtilen hareket kriterlerine göre fazla artefaktı olan katılımcılar ve tüm ödevleri tamamlayamayan katılımcılar araştırmanın istatistiksel analiz aşamasına dahil edilmedi. Gerçekleştirilen tüm

istatistiksel analizlerde 14'ü kadın 25 katılımcıdan (yaş ortalaması $24,3 \pm 3,7$) toplanan davranışsal ve fMRG verileri kullanıldı (N = 25).

3.2. Verilerin toplanması

Çalışma, İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulunun 07/02/2020 tarih ve 03 sayılı toplantısında görüşülerek etik yönünden uygun bulunmuştur. Araştırmada nörogörüntüleme ölçümleri İstanbul Üniversitesi Hulusi Behçet Yaşam Bilimleri Araştırma Laboratuvarı, Nörogörüntüleme Biriminde bulunan 3T Manyetik Rezonans Görüntüleme Cihazı (Philips-Achieva, Philips Healthcare, Best, Hollanda) ile gerçekleştirilmiştir.

3.3. Araştırmada kullanılan ödevler

3.3.1. Semantik çalışma belleği ödevi

Semantik çalışma belleği ödevinde, sözcüklerin anlamsal kategorilerinin öğrenilip çalışma belleğinde tutulması ve işlenmesi hedeflendi. Ödevin amacı, bir sözcüğün kategorisini belirleyerek sonrasında gelen sözcükler arasından aynı kategoride olanı tespit etmektir. Deney tasarımı ardışık sözcük setleri kullanıldı. Sözcükler toplam 15 semantik kategoriden belirlendi. Bu kategoriler; hayvanlar, meslekler, meyveler, sebzeler, ağaçlar, çiçekler, yiyecekler, içecekler, kıyafetler, mobilyalar, aletler, taşıtlar, enstrümanlar, yapılar ve renkler olarak yer aldı. Her bir sözcük setinde, ardışık olarak gelen 7 sözcük bulundu. Bu sözcükler arasında, birinci sıradaki sözcüğün kategorisi hedef kategori olarak yer aldı. Sonraki 6 ardışık sözcük arasından biri, hedef kategori ile aynı kategoriye sahipti. Örneğin, birinci sıradaki sözcük enstrüman kategorisinde ise sonraki 6 sözcük içinden biri enstrüman kategorisinde, diğer sözcükler ise farklı kategorideydi (bakınız; Semantik çalışma belleği koşulları için örnekler, örnek 1.a). Deneydeki her bir denemede (trial) katılımcılardan istenen, birinci sırada gelen sözcüğün semantik kategorisini belirlemeleri ve ardışık olarak gelen diğer 6 sözcük içinden, birinci sözcük ile aynı semantik kategoride olan sözcüğü bulmaları oldu.

Semantik çalışma belleği ödevi koşulları için örnekler

1.a) Yakın – Sık

Zurna Atlet Salça **Kaval** Hamsi Çilek Söğüt

Uyumlu olan hangisiydi? 1- Hamsi 2- Kaval

1.b) Yakın – Seyrek

Şebboy Lilyum Bendir Termit Krokan Etajer Havya

Uyumlu olan hangisiydi? 1- Etajer 2- Lilyum

2.a) Uzak – Sık

Karınca Pantolon Hemşire Portakal **Kelebek** Sandalye Maydanoz

Uyumlu olan hangisiydi? 1- Maydanoz 2 – Kelebek

2.b) Uzak – Seyrek

Planör LevrekSmokin Şilte Tırpan Tambur **Fayton**

Uyumlu olan hangisiydi? 1- Tırpan 2- Fayton

Deney, her biri iki seviyeli olan iki ayrı faktör ile tasarlandı. Birinci faktör, sık ve seyrek olmak üzere iki seviyeden oluşan sözcük sıklık etkisiydi. Sözcük sıklığının bir faktör olarak eklenmesinin amacı, daha az karşılaşılan sözcükler ile daha sık karşılaşılan, gündelik dilde daha yaygın kullanılan sözcüklerin kategorilerinin belirlenmesindeki zorluk farkının, çalışma belleği yükü üzerindeki etkisini araştırmak oldu. Daha sıklıkla ve daha seyrek olarak kullanılan sözcükleri belirlemek için Türkçe Ulusal Derleminden sözcüklerin sıklık bilgisi elde edildi (<https://www.tnc.org.tr/>). Buna göre, 7’li uyaran setlerinin yarısında yalnızca seyrek, diğer yarısında sık karşılaşılan sözcükler yer aldı. İkinci faktör, çalışma belleği yüküne ilişkin yakın ve uzak olmak üzere uzaklık etkisiydi. Uzaklık etkisi, birinci sözcük ile onun ardından gelen 6 sözcük arasında hedef kategoride olan sözcük arasındaki uzaklığın manipülasyonu ile oluşturuldu. Eğer birinci sözcüğe göre ilk 3 kelime içinde yer alıyorsa yakın, son 3’ünün içinde yer alıyorsa uzak koşul olarak tanımlandı. 7’li uyaran setlerinin yarısında yakın, yarısında uzak koşul kullanıldı. Böylelikle, yakın-sık (bakınız, örnek 1.a), uzak-sık (bakınız, örnek 1.b), yakın-seyrek (bakınız, örnek 2.a) ve uzak-seyrek (bakınız, örnek 2.b) olmak üzere toplam 4 koşul oluşturuldu. Deneyde bu dört koşulun her biri için, 15’er adet 7’li sözcük seti yer aldı. Böylelikle deney, 60 uyaran setinden ve toplamda 420 sözcükten oluştu. Katılımcıların ödevine yönelik dikkatlerini sürdürmeleri amacıyla, denemelerin %20’sinin ardından iki seçenekli tanıma soruları soruldu. Dört koşulun her biri için, 15 denemenin 3’ünün ardından, hedef kategorideki sözcüğe ilişkin “uyumlu olan hangisiydi?” sorusu yer aldı. İki seçenektan biri, 6 sözcük arasından, birinci sözcük

ile aynı, yani hedef kategorideki sözcük, diğeri ise uyaran setindeki diğeri sözcüklerden biri olarak belirlendi.

fMRG deneyi, olay ilişkili tasarım ile oluşturuldu. Hemodinamik yanıtın koşullar arasında ayrıştırılabilmesi ve sorulu denemelerin belirlenebilmesi için optseq algoritması (<http://surfer.nmr.mgh.harvard.edu/optseq/>) kullanılarak uyaran sıralamaları optimize edildi. Deney uyaranları E-prime (Version 2.0, Psychology Software Tools, www.pstnet.com) kullanılarak oluşturuldu. Sözcükler gri arka plan üzerine beyaz renkli olarak yer aldı. Her bir denemeden önce gri arka plan üzerinde ortada beyaz renk ile yazılmış + işaretinin yer aldığı dinlenim ekranı 1000 ms boyunca bulundu. Sonrasında, ardışık 7 sözcükten oluşan deneme başladı. Her bir sözcüğün ekranda kalış süresi 700 ms, sözcüklerin aralarındaki süre 150 ms, böylece her bir denemenin toplam süresi 6000 ms oldu. Ardından sorunun eşlik ettiği denemelerde, son sözcükten 200 ms sonra soru ve yanıt ekranı yer aldı. 3000 ms yanıt süresi bulunan ekranda soru cümlesi ve altında 1 ve 2 olarak numaralandırılmış seçenekler yer aldı. Bu sürenin sonunda soru ekranı ve yanıt seçenekleri kayboldu. Sorusuz denemelerde ise soru ekranı yerine 1000 ms boşluk yer aldı. Sonrasında, 1000, 2000 ya da 3000 ms olmak üzere değişken sürelerde boşluk bulundu. Böylelikle, fMRG deneyinde her bir denemenin başlangıcı TR'a (time of repetition, 2000 ms) göre 1000 ms değişen sürelerde gerçekleşti. Deney başlamadan önce katılımcılardan, her seferinde, birinci sıradaki sözcüğün kategorisini hedef olarak belirlemeleri, sonrasında gelen altı sözcük içinden uyumlu olanı bulmaları istendiğine ve soruları dikkatli şekilde okuyup 1. ya da 2. seçeneği seçerek yanıtlamalarına yönelik yönerge ekranı sunuldu. Bazı denemelerden sonra soru geleceği, soruların geliş zamanının belirli olmadığı, her denemeyi dikkatli biçimde okuyarak ödevi gerçekleştirmeleri belirtildi.

fMRG deneyi öncesinde katılımcılar, deney ile aynı görsel ve zamansal özellikte tasarlanan alıştırma versiyonunu uyaran bilgisayarında uyguladılar. Alıştırmada, üçünün ardından soru gelen toplam 13 deneme bulundu. Alıştırmada kullanılan sözcük setleri fMRG deneyinde kullanılmadı. Katılımcılara, 15 semantik kategori açıklanarak, bu kategorilerden sözcükler ile karşılaşacakları, sözcükleri dikkatli şekilde okuyarak, her bir denemede ilk sözcüğün kategorisini belirlemeleri ve sonra gelen sözcükler içinde aynı kategoride olanı bulmaları istendi. Soru geldiğinde iki seçenekten birini seçerek yanıtlamaları yönergesi verildi.

3.3.2. Sözdizimsel işleme ödevi

Sözdizimsel işleme ödevinde, 114E581 no’lu “Sözdizimsel İşleme ve Sözel İşler Bellek Ayırımının Multimodal Görüntüleme ile İncelenmesi” başlıklı TÜBİTAK projesi kapsamında, sözdizimsel işleme sürecinin çalışma belleği ile ilişkisinin nöral karşılıklarının fMRG ile araştırılması hedeflendi. Sözkonusu projede, Türkçedeki bağlama ve taşıma sözdizimsel yapıları, beyinde bu süreçlere ilişkin zamansal bileşenler ve anatomik karşılıkları yönünden ele alınmıştır. Projede, bu tez çalışmasına katılmış aynı katılımcı grubu ile, bağlama ve taşıma süreçlerindeki ayrıma ilişkin elektroensefalografi (EEG) deneyleri gerçekleştirilmiş, olay ilişkili potansiyeller (OİP) araştırılmıştır. OİP deneyinde bağlama ya da taşıma yapılarını içeren cümleler kullanılmıştır. Projenin EEG basamağı, OİP deneyi, bu tez çalışmasının kapsamı dışında olup, 114E581 nolu projenin sonuç raporundan deneye ilişkin bilgi edinilebilir.

Bu tez çalışmasında, projenin OİP deneyinde yer alan 224 cümle arasından 120’si rastgele seçilerek fMRG deneyinde kullanıldı. OİP deneyinde tasarlandığı gibi, fMRG deneyi de sözdizimsel yapı ve uzaklık olmak üzere iki faktörden oluştu. Deneyde ilk faktör, bağlama ve taşıma olmak üzere Türkçedeki iki sözdizimsel yapı olarak yer aldı. Deneyde sunulan, her biri 7 sözcükten oluşan cümlelerin yarısı bağlama, diğer yarısı taşıma sözdizimsel süreç türünü içerdi. İkinci faktör, çalışma belleği yükünde değişkenliği belirten uzaklık etkisiydi. Bu bağlamda, çalışma belleği yükü, bağlama ya da taşıma yapıları ile oluşturulmuş cümlelerde bağlanan ya da taşınan sözcüklerin, referansa göre aralarındaki öge sayısının manipülasyonu ile oluşturuldu. Yerel aralıklı bağlama ve taşıma çalışma belleğinde daha az, uzun aralıklı sözdizimsel yapılar ise daha fazla çalışma belleği yükünü barındırdı. Böylelikle, deneysel tasarım yerel bağlama (bakınız, örnek 3.a), yerel taşıma (bakınız, örnek 3.b), uzun aralıklı bağlama (bakınız, örnek 4.a), ve uzun aralıklı taşıma (bakınız, örnek 4.b), olmak üzere 4 koşuldan oluştu.

Sözdizimsel işleme ödevi koşulları için örnekler

3.a) Yerel bağlama

Akşam herkese aşçının kendisini eleştirdiğini iletmeni istiyorum.

Kim eleştirildi? 1- Aşçı 2- Ben

3.b) Yerel taşıma

Akşam herkese aşçıyı benim eleştirdiğimi iletmeni istiyorum.

Kim eleştirdi? 1- Aşçı 2- Ben

4.a) Uzun aralıklı bağlama

Aşçının akşam herkese kendisini eleştirdiğimi iletmesini istiyorum.

Kim eleştirildi? 1- Aşçı 2- Ben

4.b) Uzun aralıklı taşıma

Aşçıyı akşam herkese benim eleştirdiğimi iletmeni istiyorum.

Kim eleştirdi? 1- Aşçı 2- Ben

Yerel bağlama, yerel taşıma, uzun aralıklı bağlama ve uzun aralıklı taşıma olmak üzere dört deneysel koşulun her birinden 30 cümle vardı. Art arda uygulanan iki bölümden (run) oluşan fMRG deneyinin her bir kısmında dört koşuldan 15'er adet olmak üzere, 60 cümle yer aldı. Deney, tasarım ve uyaran süreleri semantik çalışma belleği ödevi ile aynı olarak, E-prime (Version 2.0, Psychology Software Tools, www.pstnet.com) ile oluşturuldu. 7 sözcükten oluşan cümleler, ardışık olarak gelen sözcüklere bölünmüş olarak sunuldu. Katılımcıların ödevi yönelik dikkatlerini sürdürmelerini sağlamaları ve davranışsal değerlendirme yapılabilmesi amacıyla tümceler %20'sinin ardından anlamaya yönelik soru yer aldı. Toplamda, 4 koşuldaki 30'ar cümlelerin 6'sının ardına soru eklendi. İki bölüme ayrılmış deneyin her bir bölümünde, 4 koşuldaki 15'er adet cümlelerin 3'ünün ardından anlama sorusu eşlik etti. Semantik çalışma belleği ödevinde olduğu gibi, olay ilişkili fMRG tasarımı ve aynı uyaran süreleri kullanılarak uyaran sıralamaları optimize edildi (<http://surfer.nmr.mgh.harvard.edu/optseq/>). Cümlelerin başlangıcında 1000, 2000 ya da 3000 ms olarak değişen sürelerde boşluklar eklendi. Deneyin iki bölümü için farklı uyaran ve soru sıralamaları kullanıldı. 7 sözcüklü cümleden oluşan bir denemenin süresi 6000 ms oldu. Bu süre içinde, 150 ms boşluklarla birbirini takip eden 7 sözcüğün her biri 700 ms boyunca ekranda kaldı. Son sözcükten 200 ms sonra 3000 ms'lik soru- yanıt ekranı ya da 1000 ms'lik boşluk takip etti. En sonda, değişken boşluk süresi devam ederek bir sonraki denemeye geçildi. Deney öncesinde katılımcılara, cümleleri dikkatli şekilde okumaları ve soruları iki seçenektan birini seçerek yanıtlamaları doğrultusunda yönerge sunuldu. Bazı denemelerden sonra soru geleceği, soruların geliş zamanının belli olmadığı, her cümleyi dikkat ederek okumaları belirtildi.

fMRG öncesinde katılımcılara, deneyi tanıtmaya amacı ile, aynı uyaran süreleri ve görsel özelliklerdeki alıştırma ödevi uygulandı. Alıştırma ödevinde OİP deneyinde kullanılan cümleler arasından, fMRG ödevi için seçilmemiş olan 10'u sorulu 3'ü sorusuz olmak üzere 13 cümle kullanıldı.

3.4. Manyetik rezonans görüntüleme

Manyetik rezonans görüntüleme İstanbul Üniversitesi Hulusi Behçet Yaşam Bilimleri Araştırma Laboratuvarı, Nörogörüntüleme Biriminde bulunan 3T MRG cihazı (Phillips, Achieva, Best, Hollanda) ile 32 kanallı SENSE kafa bobini kullanılarak gerçekleştirildi.

Anatomik görüntülemeye yüksek çözünürlüklü T1 ağırlıklı 3D Turbo Field Echo (TFE) sekansı kullanıldı. Sekansa ilişkin parametreler: Yineleme zamanı (TR) : 8,4 ms, eko zamanı [time of echo (TE)]: 3,9 ms, görüş alanı [field of view (FOV)]: 250x250 mm, yatırma açısı (flip angle): 8 derece, veri toplama matrisi: 252x227, vöksel boyutu: izotropik 1 mm³ , aksiyal düzlemde boşluksuz 180 kesit, kayıt süresi: 5 dakika 55 saniye.

fMRG T2* ağırlıklı eko planar [echo planar imaging (EPI)] sekansı ile şu parametrelerle kaydedildi: TR/TE: 2000/30 ms, yatırma açısı: 77 derece, vöksel boyutu: 2x2x4 mm³, FOV: 224x240 mm, veri toplama matrisi: 112x117, 4 mm kalınlığında boşluksuz 36 aksiyal kesit, volüm sayısı: 312, kayıt süresi bir oturum (run) için 10 dakika 24 saniye. Bir fMRG kaydı öncesinde 10 adet boş (dummy) volüm alındı.

Prosedür

Uyaran sunum bilgisayarında hazırlanmış olan ödevler, MRG cihazının arkasında yer alan MR uyumlu ekrana ters olarak yansıtıldı. Katılımcılar, MRG cihazında yatar durumdayken, kafa bobini üzerindeki bir ayna aracılığı ile bu ekranı gördüler. Sağ elleri MR uyumlu buton sisteminin üzerine yerleştirildi. Katılımcılardan, soru ekranını gördüklerinde işaret ve orta parmaklarının altındaki tuşlar ile 1 ve 2 seçeneklerinden birini seçerek yanıt vermeleri, ödevleri dikkatli şekilde gerçekleştirmeleri istendi. İki ödevin uygulanış sırası katılımcılar arasında dengeli (counterbalanced) olarak belirlenerek sıralama etkisinden kaynaklanabilecek değişkenliğin kontrol edilmesi hedeflendi.

3.5. Araştırmada kullanılan istatistiksel analiz yöntemleri

3.5.1. Davranışsal verilerin analizi

Davranışsal analizde her iki ödevde doğru yanıtlar ve doğru yanıtların ortalama reaksiyon süreleri elde edilerek SPSS (IBM SPSS Statistics, Version 25.0) ortamında istatistiksel analizler gerçekleştirildi. Semantik çalışma belleği ödevi için sözcük sıklığı (sık ve seyrek) ve uzaklık (yakın ve uzak) faktörlerinin etkileri ile bunlar arasındaki etkileşim iki yönlü olarak 2x2 tekrarlayan ölçümler için varyans analizi (ANOVA) ile incelendi. Aynı analiz, sözdizimsel işleme ödevinde sözdizimsel işleme süreç türü (bağlama ve taşıma) ve uzaklık (yerel ve uzun aralıklı) faktörlerinin etkileri ile bu faktörler arasındaki etkileşimi araştırmak için uygulandı.

3.5.2. Fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme verilerinin analizi

3.5.2.1. Ön işleme

fMRG verilerini istatistiksel analize hazırlamak, değişkenliği ve hareket kaynaklı etkileri azaltmak ile verilerin standardizasyonu sağlamak amacıyla, her bir katılımcının ödevler sırasında kaydedilmiş fMRG verilerine ön işleme adımları uygulandı.

Ön işleme, MATLAB (Mathworks Inc. Natick, MA, ABD) tabanlı çalışan SPM 12 (Statistical Parametric Mapping, <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/software/spm12>) ve CONN 20 b (<https://www.nitrc.org/projects/conn>) ortamlarında gerçekleştirildi. İlk olarak, yeniden hizalama işlemi hareket kaynaklı değişkenliği düzeltme amacıyla uygulandı. Bu aşamada, katılımcıların fonksiyonel verilerinde oluşmuş kafa hareketlerine ilişkin üç adet translasyon ve üç adet rotasyon verisi elde edildi. CONN ortamında ART araç paketi (Artifact Detection Tools; www.nitrc.org/projects/artifact_detect) kullanılarak, ardışık volümler arasında, bir önceki volüm ile karşılaştırılarak, hareket ve global sinyal değişimleri belirlendi. Bir önceki volüme göre hareket değişimi 0,9 mm veya daha fazla olan ya da global sinyal değişimi 5 standart sapma (SS) veya daha yüksek olanlar aykırı volüm olarak belirlendi. Bir oturumda, toplam volüm sayısının (312) %10'undan daha fazla aykırı düzeyde volüme sahip olan oturumlar dışlandı. Buna ek olarak, bir kayıt genelinde, ortalama olarak bir önceki volüme göre olan hareket değişimi (framewise displacement, FD) hesaplandı (Power ve ark. 2012). Ortalama FD dışlama limiti, literatürde nörogörüntüleme çalışmalarında genellikle kabul görmüş 0,5 mm olarak belirlendi.

(Power ve ark. 2012). Sonuç olarak, 4 katılımcının verileri hareket kaynaklı nedenler ile istatistiksel analizlere dahil edilmedi. Bunun dışında, 3 katılımcı ise tüm ödevleri tamamlayamadığı için dışlandı. Toplamda 25 katılımcının verileri ile istatistiksel analizler gerçekleştirildi. Bu katılımcıların ortalama FD ve aykırı volüm sayıları iki ödev arasında SPSS ortamında karşılaştırıldı.

Hareket kaynaklı etkilere yönelik bu ön işleme adımlarından sonra, fonksiyonel-yapısal bağdaştırma (coregistration) uygulandı. Yüksek çözünürlüklü T1 ağırlıklı anatomik görüntü ile ortalama fonksiyonel imge bağdaştırıldı. Anatomik görüntü, doku olasılık haritaları ile gri ve ak madde ile beyin omurilik sıvısı olmak üzere bölütlendi. Montreal Nöroloji Enstitüsü'nün (Montreal Neurological Institute, MNI) 152 sağlıklı kişiden toplanan anatomik MRG çekimlerinin ortalamasına göre oluşturduğu MNI 152 standart şablonuna taşındı. Anatomik görüntü ile bağdaştırılmış olan fonksiyonel veriler, MNI 152 standart şablonuna 2 mm'yle yeniden örneklenerek normalize edildi. Son olarak, normalizasyonu tamamlanmış fonksiyonel verilere yumuşatma işlemi uygulandı. Bu işlemin amacı, verilerde rezidüel farklar ve olası hataların etkilerini azaltmak ile istatistiksel geçerliliği arttırmaktır. Bu nedenle, vokseller arasındaki değerler, komşu voksellerin ağırlıklandırılmış ortalamalarına göre düzenlenmektedir. Böylelikle, verilere 8 mm yarı yükseklik tam genişlikte (Full Width Half Maximum, FWHM) Gauss-tipi kernel ile yumuşatma uygulanarak ön işleme tamamlandı.

Bu tez çalışması dışında, 114E581 no'lu TÜBİTAK projesi kapsamında, proje ekibi tarafından sözel çalışma belleğine yönelik "okuma aralığı" testi geliştirilmiş ve katılımcılara uygulanmıştır. Testin oluşturulması ve verilerinin toplanmasının bu tez çalışması kapsamında gerçekleştirilmemiş olmasından dolayı, bu bölümde detayları verilmemiş olup, testin detaylarına ilişkin, 114E581 no'lu TÜBİTAK projesinin sonuç raporundan bilgi edinilebilir.

Bu tez çalışmasında, nörogörüntüleme analizlerinde katılımcılar arasında sözel çalışma belleği performansı farklılığından dolayı oluşabilecek etkileri kontrol etme amacıyla, katılımcıların "okuma aralığı" puanları aşağıdaki bölümlerde yer verilen grup seviyesindeki fMRG analizlerinde kovaryant olarak eklendi. En yüksek 60 puan alınabilen "okuma aralığı" testinde, istatistiksel analizlere dahil edilen 25 katılımcı ortalama 36,9 (SS: 7,1), en az 24, en çok 51 puan almıştır.

3.5.2.2. Genel doğrusal model

fMRG aktivasyonlarını ödev koşulları içinde ve ödevler arasında inceleme amacıyla, ön işlemeden geçirilmiş fonksiyonel verilere SPM 12 ortamında genel doğrusal model (general linear model, GLM) analizi uygulandı. Öncelikle, katılımcı seviyesinde, her bir katılımcının iki ödevden gelen verilerine ayrı olarak birinci seviye analizler uygulandı. Deneysel koşullar tasarım matrisinde tanımlandı. Semantik çalışma belleği ödevinde, yakın-sık, yakın-seyrek, uzak-sık ve uzak-seyrek koşullarının her birinin deneydeki başlangıç anları ve süreleri belirtilerek, zamansal ve dağılım türevleri ile regresör olarak tasarım matrisine eklendi. Soru-yanıt için belirlenen başlangıç zamanları ve süresi tasarım matrisine ayrı bir regresör olarak eklendi. Bu deneysel koşulların kanonik hemodinamik tepki fonksiyonu (hemodynamic response function, HRF) ile konvolüsyonu yapıldı. Daha sonra, ilgilenilmeyen değişkenler olarak, ön işlemede elde edilmiş hareket parametreleri ile aykırı volümler, etkileri dışlanması amacıyla eklendi. 128 sn'lik kesme noktasında, yavaş salınımlı sinyalleri temizleme amacıyla filtre uygulandı. Deneysel koşullara ilişkin beta parametreleri kestirildi. Koşullar arası fMRG aktivasyonları arasındaki farkları inceleme amacıyla kontrastlar oluşturuldu. Semantik çalışma belleği sürecinde öncelikle dinlenime göre aktivasyonu belirten ortalama etki, sonrasında sözcük sıklığı ve uzaklık etkileri ile bu iki faktör arasındaki etkileşimi grup seviyesinde inceleme amacıyla, her bir katılımcı için birinci seviye analizde t kontrastlar tanımlandı. Öncelikle, semantik koşulda ödev genelinde dinlenim durumuna göre artan fMRG aktivasyonunu incelemek için, 4 koşul genelinde dinlenime göre artan ortalama aktivasyonu belirten kontrast (semantik > dinlenim) oluşturuldu. Bu kontrastın tersi (semantik < dinlenim) ile ödevde deaktivasyon, yani ödevde azalan aktivasyonlar araştırıldı. Sözcük sıklık etkisi, seyrek koşulda sık sözcükler koşuluna göre artan (seyrek > sık) ve azalan (seyrek < sık) olmak üzere iki ayrı t kontrastı ile incelendi. Uzaklık etkisi uzak > yakın ve uzak < yakın kontrastları ile araştırıldı, son olarak sözcük sıklığı ve uzaklık arasındaki etkileşimi incelemek için F kontrastı oluşturuldu.

Sözdizimsel işleme ödevinde birinci seviye analizler, semantik çalışma belleği ödevi ile aynı parametreler ile gerçekleştirilmiş olup, deneysel koşullar olarak tasarım matrisinde yerel bağlama, yerel taşıma, uzun aralıklı bağlama ile uzun aralıklı taşıma yer aldı. Katılımcıların hareket parametreleri ve aykırı volümleri, etkileri dışlanan regresörler olarak eklendi. Sözdizimsel çalışma belleği ödevinde dinlenime

göre artan aktivasyonu (sözdizim > dinlenim) ve deaktivasyonu (sözdizim < dinlenim) belirten t kontrastları oluşturuldu. Sözdizimsel süreç türü etkisi için bağlama > taşıma, bağlama < taşıma kontrastları ile uzaklık etkisi için uzun aralıklı > yerel, uzun aralıklı < yerel kontrastları ve aralarındaki etkileşim için F kontrastı oluşturuldu.

İkinci seviye analizde, birinci seviye analizlerde hesaplanmış bu kontrastlar kullanılarak grup düzeyinde, voksel temelli tüm beyin analizleri uygulandı. Katılımcıların “okuma aralığı” skorları kovaryant olarak eklenerek kontrol edildi. İlk olarak, semantik çalışma belleği ve sözdizimsel işleme ödevlerindeki ortalama etkiler ve deaktivasyonlar tek örneklem t testleri ile değerlendirildi. Böylelikle, birinci seviye analizde edinilmiş semantik > dinlenim ve sözdizim > dinlenim kontrastları ile gerçekleştirilen tek örneklem t testleri ile bu iki ödevde oluşan aktivasyonlar; birinci seviye analizde edinilmiş semantik < dinlenim ve sözdizim < dinlenim kontrastları kullanılarak gerçekleştirilen tek örneklem t testleri ile deaktivasyonlar grup seviyesinde değerlendirildi. Ayrıca, eşleştirilmiş örneklem t testleri ile semantik ve sözdizimsel süreçlerde oluşan global etkilerin birbirlerine göre değişimleri, semantik > sözdizim ve semantik < sözdizim olmak üzere iki ayrı ikinci seviye kontrast belirlenerek incelendi. Son olarak, her iki ödevde özgü koşullar arası aktivasyon değişimleri, birinci seviye analizde elde edilmiş kontrastlara tek örneklem t testleri uygulanarak incelendi. Bu aşamadaki etkiler özetlenecek olursa, semantik çalışma belleği ödevinde sözcük sıklığının ve uzaklığın iki yönlü olarak etkileri ile aralarındaki etkileşim; sözdizimsel işleme ödevinde ise sözdizimsel süreç türü ve uzaklık faktörleri ile bunların etkileşimi oldu. Bulgular için istatistiksel anlamlılık, küme oluşturma düzeyinde düzeltilmemiş $p < 0,001$ ile küme seviyesinde FWE (family-wise error rate) düzeltilmiş $pFWE < 0,05$ olarak belirlendi. İstatistiksel olarak anlamlı aktivasyon değişimi gözlenen kümelerde koşullara özgü oluşan aktivasyonların yönlerini göstermek için, elde edilen kümeler MATLAB tabanlı Marsbar Araç paketi (Brett ve ark. 2002) ile ilgi bölgeleri (region of interest, ROI) haline getirildi. Kümelerden ilgili kontrastı oluşturan koşullar için ayrı olarak, ortalama beta parametreleri her bir katılımcı için elde edildi. Daha sonra, bu parametrelerin grup seviyesinde ortalamaları alınarak, aktivasyon yönlerini ve büyüklüklerini ifade etmesi için bar grafiklere dönüştürüldü.

İstatistiksel olarak anlamlı bulunan kümelerin anatomik karşılıkları FSLeves (<https://doi.org/10.5281/zenodo.7038115>) programında görüntülendi ve aktivasyon ya

da deaktivasyon gözlenen kümeler MNI 152 şablonundaki standart ortalama T1 ağırlıklı beyin görüntüsü üzerinde gösterilerek görselleştirildi. Alanların anatomik karşılıklarının belirlenmesinde öncelikle Harvard-Oxford atlası kullanıldı. Ayrıca, kortikal bölgeler Brodmann alanları atlası ile incelenerek, karşılık geldikleri BA numaraları belirlendi. Ek olarak, Schaefer ve ark. (2018) tarafından 100 bölgeye ayrılmış kortikal parselasyon kullanılarak, anlamlı aktivasyon gözlenen kortikal alanların karşılık geldiği geniş ölçekli ağ karşılıkları belirlendi. Bu atlastaki parseller VIS, DAN, CONT, SAL/VENT, DMN, SMN ve LIM olmak üzere 7 ağa karşılık gelmektedir. Son olarak, TPJ ile örtüşen alanların belirlenmesinde Mars ve ark. (2012) tarafından oluşturulmuş, anterior ve posterior olmak üzere iki bölüme ayrılan TPJ parselasyonu kullanıldı.

3.5.2.3. İlgili bölgesi temelli fonksiyonel bağlantısallık analizi

Semantik çalışma belleği ve sözdizimsel işleme ödevleri arasında geniş ölçekli kortikal ağ alanları arasında fonksiyonel bağlantısallık değişimlerinin araştırılması hedeflendi. Bu amaçla, CONN'da ROI temelli fonksiyonel bağlantısallık analizi, ağ temelli istatistik yöntemi ile uygulandı. ROI'ler Schaefer ve ark. (2018) serebral korteks parselasyonu ile oluşturduğu atlastan elde edildi. 7 geniş ölçekli ağ alanları ile eşleştirilmiş 100 kortikal parselden oluşan atlasın tümü kullanıldı (Schaefer ve ark. 2018). Atlasta 17 VIS, 14 SMN, 15 DAN, 12 SAL/VENT, 5 LIM, 13 CONT, 24 DMN parseli yer aldı.

Fonksiyonel bağlantısallık analizi gerçekleştirilmeden önce fMRG verilerine ek ön işleme işlemleri uygulanarak, BOLD sinyalinde potansiyel gürültü kaynaklarından oluşabilecek etkilerin dışlanması hedeflendi. Bu amaçla, CONN'un gürültü temizleme prosedürü uygulandı. Bu işlemde, CONN'un anatomik temelli gürültü düzletme (aCompCor) yöntemi ile, fizyolojik etkiler ve katılımcıların hareketine ilişkin etkiler kontrol edildi (Behzadi ve ark. 2007; Nieto-Castanon 2020). İlk olarak her bir voksel için potansiyel gürültü kaynaklarından gelen etkiler kestirilerek, lineer regresyon ile çıkarıldı (Nieto-Castanon 2020). Bu gürültü kaynakları olarak, ak madde ve beyin omurilik sıvısı, 6 adet hareket parametresi ve türevleri, ART ile belirlenmiş aykırı volümler ve BOLD sinyalindeki yavaş salınımlı doğrusal sinyallerin etkilerini azaltma amacı ile fMRG oturumlarının genel etkisi eklendi. En son olarak, veriler üzerinde 0,01 – 0,1 Hz aralığında bir filtre uygulandı.

Birinci seviye analizde, her bir katılımcı için bağlantısallık haritaları hesaplandı. Bu işlemin gerçekleştirilmesinde genellenmiş psiko-fizyolojik etkileşimler (gPPI, generalized psycho-physiological interactions) yaklaşımı (McLaren ve ark. 2012) kullanıldı. CONN'daki ROI temelli analizlerde gPPI yaklaşımı, iki ROI arasında, ödev ile modüle olan bağlantısallığı ifade etmektedir (Nieto-Castanon 2020). Bu modülasyon, fonksiyonel bağlantısallığın gücünde deneysel faktörle birlikte gerçekleşen değişiklikleri belirtmektedir. gPPI, her bir ROI'nin zaman serisi için ayrı çoklu regresyon modeli ile hesaplanır. gPPI terminolojisinde psikolojik ve fizyolojik olmak üzere iki ana faktör bulunmaktadır. Psikolojik etki regresörleri ödev, fizyolojik etki ise ROI'den gelen zaman serisi regresörü olarak yer almaktadır. Her bir model ön görücü (predictor) olarak şu etkileri barındırır:

- 1) Ana psikolojik faktör olarak, seçilen tüm ödev etkilerinin kanonik HRF ile konvolüsyonu,
- 2) Ana fizyolojik faktör olarak, her bir ROI'nin BOLD zaman serisi,
- 3) 1. ve 2. etkilerin bir ürünü olarak belirlenmiş etkileşim terimi.

gPPI analizinin çıktısı, etkileşim terimi ile ilişkilendirilmiş regresyon katsayıları olarak tanımlanmaktadır (Nieto-Castanon 2020). BOLD zaman serileri, ödev etkilerine ortogonal olarak alınmakta ve ortalaması 0 değerine çekilmektedir. CONN'da uygulanan gPPI yaklaşımında, etkileşim teriminin modellenmesinde BOLD sinyali işlenmemiş olarak alınmakta, psikolojik faktörler ise HRF ile konvolüsyona uğratılmaktadır (Nieto-Castanon 2020). Bu çalışmada, birinci seviye analizde her bir katılımcı için, gPPI modeline semantik çalışma belleği ve sözdizimsel işleme ödevlerindeki koşullar eklenerek, 100 ROI arasında iki yönlü regresyon katsayıları hesaplandı.

İkinci seviye analizde, birinci seviye analizlerde semantik ve sözdizimsel işleme için hesaplanmış olan regresyon matrisleri kullanıldı. Sözel çalışma belleğinin semantik ve sözdizimsel süreçlerde birbirlerine göre değişen bağlantısallık örüntülerinin ortaya çıkarılması hedeflendi. Bu karşılaştırmada, katılımcıların “okuma aralığı” puanları, katılımcılar arasında sözel çalışma belleği performansına ilişkin bir değişken olması nedeniyle kovaryant olarak eklendi. 100 ROI arasındaki 9900 bağlantı, ağ temelli istatistik (NBS, network-based statistics) yaklaşımı ile incelendi. NBS, ROI'ler arasındaki bağlantıları bütüncül bir ağ yapısı çerçevesinde değerlendirmeye

olarak veren, parametrik olmayan, permütasyon temelli bir testtir (Zalesky ve ark. 2010). Bu analizdeki ana terimler arasında, ROI'lere karşılık gelen düğümler (node) ve aralarındaki ikili bağlantılar (edge) yer almaktadır. Bağlantılar gruplandırılırken ağ terimi kullanılır (Nieto-Castanon 2020). Öncelikle, GLM uygulanarak, düğümler arasındaki bağlantısallık matrisi ile parametrik bir harita elde edilir. Belirlenen bir eşik değeri üstündeki ($t > 3$, $p < 0,001$) ikili bağlantılar grafik bileşenini oluşturur. Topolojik düzlemde gruplanan bağlantıların temel bileşeni, bir kümeye karşılık gelen grafik olarak tanımlanmıştır (Zalesky ve ark. 2010). Bağlantılar, istatistik kareler toplamı ile belirlenen şiddet (intensity/mass) değerine göre alt ağlara gruplanır (Zalesky ve ark. 2010). Permütasyon döngüleri uygulanması ile (1000 veya daha fazla sayıda) sıfır (null) hipotezinde beklenen değeri belirlenir (Zalesky ve ark. 2010). Böylelikle, her bir ağın değeri bu beklenen değeri dağılımı ile karşılaştırılabilir. Daha sonra, çoklu karşılaştırmalar için düzeltme uygulanarak p değerleri elde edilir ve koşul ya da gruplar arasında belirlenen kontrasta özgü, istatistiksel olarak anlamlı ağ konfigürasyonu elde edilebilir. Bu çalışmada, 100 ROI arasındaki tüm bağlantılar, NBS ile incelendi. Bağlantı çiftleri arasında, öncelikle, $p < 0,001$ eşik değerini geçenler ile grafik elde edildi. Daha sonra, çoklu karşılaştırmalar için ağ seviyesinde FWE düzeltmesi ile p değerleri elde edildi. Bu değerler, bağlantılar arasında, sıfır hipotezi değerinde veya ondan daha yüksek bir değere sahip bir ya da daha fazla ağ bulunması olasılığını belirtmektedir (Nieto-Castanon 2020). Ağ yapısında semantik çalışma belleği ile sözdizimsel işleme ödevlerinde birbirlerine göre artan ve azalan fonksiyonel bağlantısallıkların ortaya çıkarılması hedeflenerek, $p_{FWE} < 0,05$ düzeyinde istatistiksel anlamlılık gösteren bağlantılar iki yönlü olarak karşılaştırıldı. Böylelikle, ortaya çıkan ağ konfigürasyonunda, pozitif t değerleri semantik koşulda sözdizime göre artan bağlantısallığı, negatif t değerine sahip bağlantılar ise bunun tersini ifade etti.

4. BULGULAR

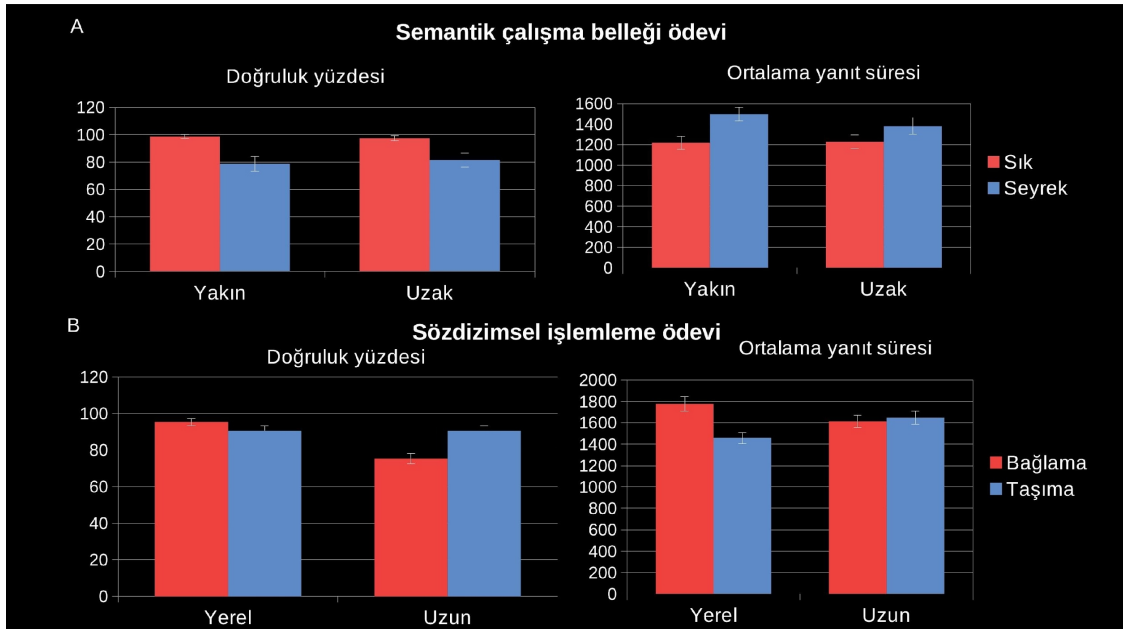
Çalışmaya katılan 32 katılımcı arasından, semantik çalışma belleği, sözdizimsel işleme ödevleri ve okuma aralığı testinden elde edilen tüm verilerinin kullanılabildiği katılımcılar istatistiksel analizlere dahil edildi. 4 katılımcı fMRG verilerinin hareket artefaktlarının fazla olması ve 3 katılımcı tüm ödevleri tamamlayamaması nedeniyle çalışmadan dışlandı. Tüm istatistiksel analizler, 25 kişilik örneklem ile gerçekleştirildi. 25 katılımcının sözdizimsel işleme ve semantik çalışma belleği ödevlerindeki ortalama FD ve aykırı volüm sayıları karşılaştırıldı. Ortalama FD sözdizimsel işleme ($0,15 \pm 0,05$) ve semantik çalışma belleği ($0,14 \pm 0,05$) arasında değişiklik göstermedi ($t(24) = 1,455$, $p = 0,159$). Ayrıca, katılımcıların aykırı volüm sayıları bakımından sözdizimsel işleme (ortalama = $3,18 \pm 4,92$) ve semantik çalışma belleği (ortalama = $2,08 \pm 4,25$) ödevleri arasında anlamlı fark yoktu ($t(24) = 1,014$, $p = 0,320$).

4.1. Davranışsal bulgular

Semantik çalışma belleği ödevinde yanıtların ortalama doğruluk yüzdesinde sözcük sıklığı ana etkisi anlamlı bulundu ($F(1,24) = 15,261$, $p = 0,001$, $\eta^2 = 0,389$). Katılımcılar sık sözcük koşulunda ($98,00 \pm 7,94$) seyrek sözcük koşuluna ($80,00 \pm 26,31$) göre daha yüksek doğrulukta yanıt verdiler. Uzaklık etkisi ($F(1,24) = 0,064$, $p = 0,802$, $\eta^2 = 0,003$) ve uzaklık x sözcük sıklığı etkileşimi ($F(1,24) = 0,590$, $p = 0,450$, $\eta^2 = 0,024$) anlamlı bulunmadı. Ortalama yanıt sürelerinde de sözcük sıklığı ana etkisi anlamlı bulundu ($F(1,24) = 17,679$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,424$). Katılımcılar sık sözcük koşulunda ($1223,396 \text{ ms} \pm 323,77$) seyrek sözcük koşuluna ($1439,698 \text{ ms} \pm 367,72$) göre daha hızlı yanıt verdiler (Şekil 1). Uzaklık etkisi ($F(1,24) = 1,564$, $p = 0,223$, $\eta^2 = 0,061$) ve uzaklık x sözcük sıklığı etkileşimi ($F(1,24) = 2,276$, $p = 0,144$, $\eta^2 = 0,087$) anlamlı bulunmadı.

Sözdizimsel işleme ödevinde yanıtların ortalama doğruluk yüzdesinde uzaklık ana etkisi ($F(1,24) = 17,987$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,428$) anlamlıydı. Katılımcılar yerel aralıklı sözdizimsel koşulda ($93,00 \pm 10,29$) uzun aralıklı koşula ($83,00 \pm 13,25$) göre daha yüksek doğrulukta yanıt verdiler. Buna ek olarak, sözdizimsel süreç türü (taşıma, bağlama) x uzaklık etkileşimi ($F(1,24) = 19,661$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,450$)

istatistiksel olarak anlamlıydı. Yerel aralıklı bağlama koşulunda doğruluk oranı ($95,33 \pm 9,03$) uzun aralıklı bağlama koşuluna göre ($75,33 \pm 13,70$) daha yüksekti. Taşımada ise yerel ($90,66 \pm 12,80$) ve uzun aralıklı koşullar ($90,66 \pm 12,80$) arasında doğruluk yüzdesi değişmedi. Ortalama yanıt sürelerinde ise sözdizimsel süreç türü ana etkisi istatistiksel olarak anlamlıydı ($F(1,24) = 15,972$, $p = 0,004$, $\eta^2 = 0,294$); katılımcılar taşımada ($1554,19 \text{ ms} \pm 279,95$) bağlamaya göre ($1696,07 \text{ ms} \pm 304,22$) daha hızlı yanıt verdiler. Uzaklığın ortalama yanıt süresi üzerindeki etkisi ise anlamlı değildi ($F(1,24) = 0,257$, $p = 0,617$, $\eta^2 = 0,011$). Sözdizimsel süreç türü x uzaklık etkileşimi de ortalama yanıt süresi üzerinde anlamlı bir etki gösterdi ($F(1,24) = 31,490$, $p < 0,001$, $\eta^2 = 0,567$) (Şekil 4-1). Yanıt süreleri yerel aralıklı bağlamada ($1777,52 \text{ ms} \pm 334,61$) uzun aralıklı bağlamaya göre ($1614,62 \text{ ms} \pm 273,83$); taşımada ise tersine uzun aralıklı taşımada ($1649,56 \text{ ms} \pm 304,33$) yerel aralıklı taşımaya ($1458,82 \text{ ms} \pm 255,58$) kıyasla daha yavaştı.



Şekil 4-1: Davranışsal bulgular.

A: Semantik çalışma belleği ödevinde solda, ortalama doğruluk yüzdesi, sağda ortalama yanıt süresini belirten bar grafikleri. B: Sözdizimsel işleme ödevinde solda, ortalama doğruluk yüzdesi, sağda ortalama yanıt süresini belirten bar grafikleri. Hata çubukları standart hatayı göstermektedir.

4.2. Aktivasyon analizi bulguları

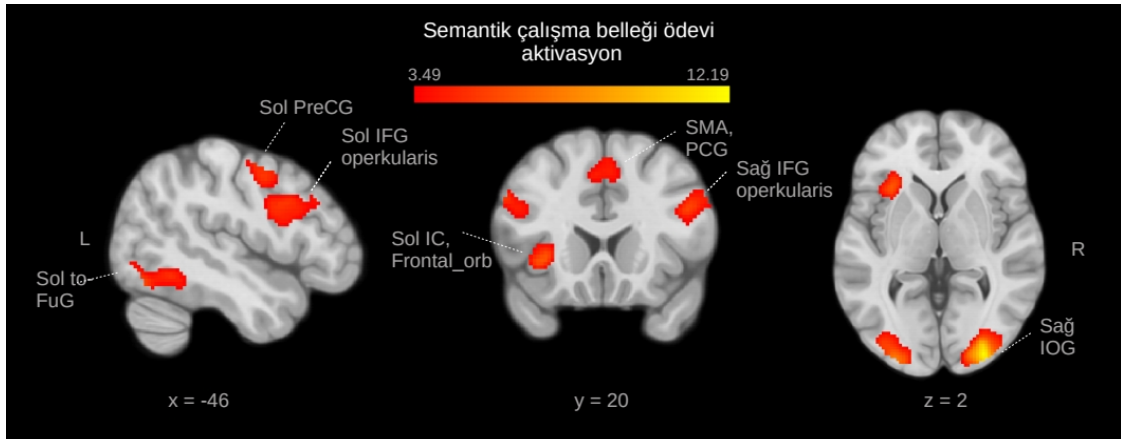
Göreve dayalı fMRG ölçümleri üzerinde, önce semantik çalışma belleği ve sözdizimsel işleme ödevlerindeki ortalama etkiler ayrı ayrı değerlendirildi, ardından

her iki görevin global etkileri karşılaştırıldı. Son olarak her iki ödevin kendi içlerinde farklı koşullar arasındaki karşılaştırmalar gerçekleştirildi. Tüm sonuçlar için küme oluşturma düzeyinde düzeltilmemiş anlamlılık eşiği $p < 0,001$ ile küme seviyesinde düzeltilmiş $pFWE < 0,05$ eşiği ile istatistiksel anlamlılık belirlendi.

4.2.1. Semantik ve sözdizimsel çalışma belleği ödevlerine ilişkin genel fMRG aktivasyonları

4.2.1.1. Semantik çalışma belleği ödevinde aktivasyon

Semantik çalışma belleği ödevinde bilateral IFG pars operkularis, bilateral süperiyor frontal girus (SFG), parasingulat girus (PCG), SMA, sol insular korteks, OFC, bilateral inferior oksipital girus (IOG) ve sol temporo-okspital fusiform girusta (to-FuG) aktivasyon gözlemlendi (Şekil 4-2, Tablo 4-1). Schaefer ve ark. (2018) kortikal alanları büyük ölçekli nöral ağlara bölüştürdüğü 100 parsellik atlasına göre bu alanlar VIS, DAN, CONT ve SAL/VENT ağlarının spesifik düğümlerine karşılık gelmektedir.

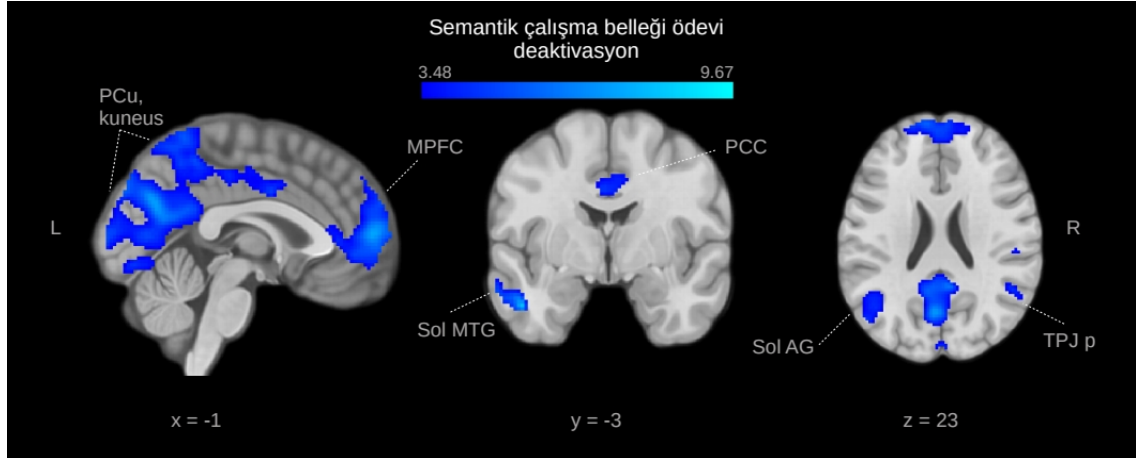


Şekil 4-2: Semantik çalışma belleği ödevinde aktivasyon gözlenen alanlar.

Renk çubuğu t değerini göstermektedir. L:sol, R:sağ, IC: insular korteks, IFG: inferior frontal girus, IOG: inferior oksipital girus, orb: orbital, PreCG: presantral girus, PCG: parasingulat girus, SMA: suplementer motor alan, to-FuG: temporo-okspital fusiform girus.

4.2.1.2. Semantik çalışma belleği ödevinde deaktivasyon

Semantik çalışma belleği görevinde ödev koşullarında dinlenim durumuna kıyasla MPFC, ACC, anterior temporal girus, AG, sağ ve sol lateral pariyetal alanlar ile PCu ve kuneus alanlarında ve posterior TPJ'de yaygın deaktivasyon gözlemlendi (Şekil 4-3, Tablo 4-2). Bu alanlar genel olarak major DMN bölgeleri ile görsel alanları ve SAL/VENT alanlarını kapsamaktadır.

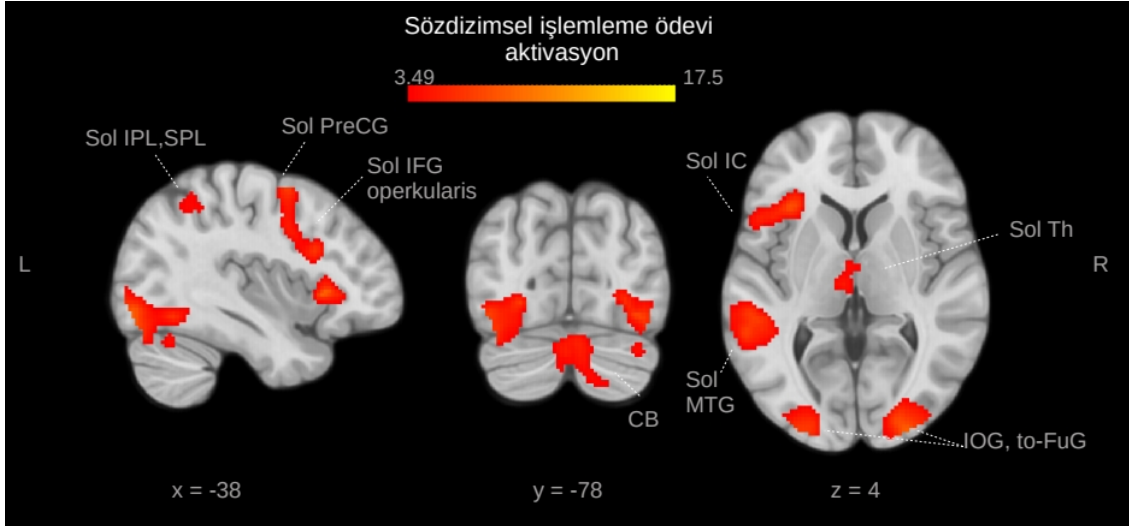


Şekil 4-3: Semantik çalışma belleği ödevinde deaktivasyon gözlenen alanlar.

Renk barı t değerini göstermektedir. L: sol, R: sağ, AG: angular girus, MPFC: medyal prefrontal korteks, MTG: orta temporal girus, PCC: posterior singulat korteks, PCu: prekuneus, TPJ p: posterior temporo-pariyetal bileşke.

4.2.1.3. Sözdizimsel işlememe ödevinde aktivasyon

Sol IFG ve presantral girus, bilateral SFG, SMA, PCG ve IOG, to-FuG, sol insular korteks, posterior MTG, STG, IPL, SPL ve sol talamus ventral anterior ve medyal dorsal çekirdekler ile sağ serebellumda (CB) Krus I/II ve lobul VI'te aktivasyon artışı gözlemlendi (Şekil 4-4, Tablo 4-1). Schaefer ve ark.'nın (2018) 100 parsellik atlasına göre bu kortikal alanlar VIS, DAN, CONT ve SAL/VENT ve DMN ağlarının düğümleriyle örtüşmektedir.

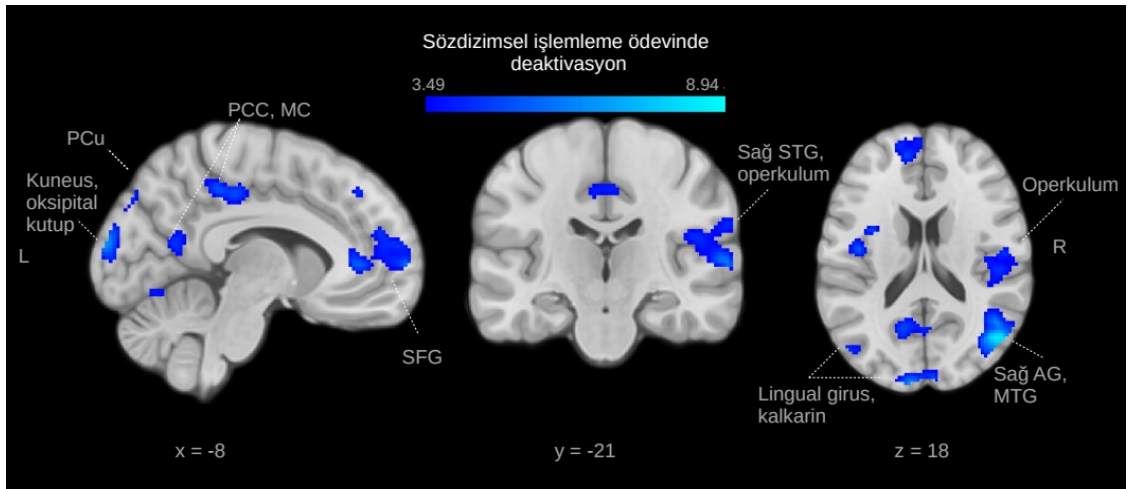


Şekil 4-4: Sözdizimsel çalışma belleği ödevinde aktivasyon gözlenen alanlar.

Renk çubuğu t değerlerini göstermektedir. L:sol, R:sağ, IC: insular korteks, IFG: inferior frontal girus, IOG: inferior oksipital girus, IPL: inferior pariyetal lobul, MTG: orta temporal girus, PreCG: presantral girus, CB: serebellum, SPL: süperiyor pariyetal lobul, Th: talamus, to-FuG: temporo-okspital fusiform girus.

4.2.1.4. Sözdizimsel işleme ödevinde deaktivasyon

Sözdizimsel işleme görevinde ödev koşullarında dinlenim durumuna kıyasla medyal PFC, parahippokampal alanlar, ACC ve PCC, PCu, temporal, sağ lateral pariyetal alanlarda deaktivasyon gözlemlendi (Şekil 4-5, Tablo 4-2). Bu alanlar genel olarak major DMN bölgelerini, VIS ve SAL/VENT alanlarını içermektedir.



Şekil 4-5: Sözdizimsel işleme ödevinde deaktivasyon gözlenen alanlar.

Renk çubuğu t değerlerini göstermektedir. L: sol, R: sağ, AG: angular girus, MC: orta singulat, MTG: orta temporal girus, PCC: posteriyor singualt korteks, PCu: prekuneus, SFG: süperiyor frontal girus, STG: süperiyor temporal girus.

Tablo 4-1: Semantik çalışma belleği ve sözdizimsel işleme ödevlerinde dinlenime göre artan aktivasyon gösteren bölgeler.

	Anatomik bölge	Schaefer atlasına göre ağ karşılığı	MNI Koordinatları	Voksel sayısı	t	pFWE
			x y z			
Semantik > Dinlenim						
Küme 1	Sağ oksipital kutup, IOG (BA 18, 19)	VIS	30 -92 0	1180	12,81	<0,001
Küme 2	Sol IOG (BA 18, 19) ve to-FuG (BA 37)	VIS	-24 -94 -10	1548	11,15	<0,001
Küme 3	SMA (BA 6), PCG	SAL/VENT	-4 8 56	810	8,30	<0,001
Küme 4	Sol insular korteks , OFC (BA 47)	SAL/VENT	-34 22 -2	278	6,66	0,005
Küme 5	Sol IFG pars operkularis (BA44), presantral girus (BA 4)	DAN, CONT	-38 6 30	1168	6,58	<0,001
Küme 6	Sağ , IFG pars operkularis (BA 44)	DAN, CONT	42 8 32	947	6,40	<0,001
Sözdizim > Dinlenim						
Küme 1	Sol IOG (BA 18, 19) ve to-FuG (BA 37)	VIS	-22 -94 -10	1894	17,40	<0,001
Küme 2	Sağ IOG (BA 18, 19) ve to-FuG (BA 37) CB lobul VI, Crus I/II	VIS	20 -90 -8	2476	14,67	<0,001
Küme 3	Sol insular korteks	SAL/VENT	-36 22 2	626	9,44	<0,001

Küme 4	SMA(BA 6) SAL/VENT	SAL/VENT	-4	10	54	624	9,44	<0,001
Küme 5	Sol IFG pars operkularis (BA 44), presantral girus (BA 4)	DAN	-52	0	44	1115	8,83	<0,001
Küme 6	Sol MTG, posteriyor, DMN SMG (BA 40), posteriyor STG		-48	-38	0	1204	7,97	<0,001
Küme 7	Sol IPL (BA 40), SPL	CONT	-34	-56	48	244	4,99	0,007
Küme 8	Sol talamus ventral anteriyor ve medyal dorsal nukleus		-6	-18	4	227	4,81	0,010

IFG: inferiyor frontal girus, IPL: inferiyor pariyetal lobul; IOG: inferiyor oksipital girus, MTG: orta temporal girus, SMA: suplemeter motor alan; SMG: supramarginal girus, SPL: süperiyor pariyetal lobul, STG: süperiyor temporal girus, to-FuG: temporo-okspital fusiform girus, CONT: kontrol ağı, DAN: dorsal dikkat ağı, DMN: olağan durum ağı SAL/VENT: dikkat çekerlik/ventral dikkat ağı, VIS: görsel ağ.

Tablo 4-2: Semantik çalışma belleği ve sözdizimsel işleme ödevlerinde deaktivasyon gözlenen bölgeler

	Anatomik bölge	Schaefer atlasına göre ağ karşılığı	MNI Koordinatları	Voksel sayısı	t	pFWE
			x y z			
Semantik < Dinlenim						
Küme 1	Sol MTG	DMN	-48 -2 -30	369	9,61	0,001
Küme 2	Medyal SFG	DMN	-6 56 10	2992	8,67	<0,001
Küme 3	PCu,PCC, kuneus	DMN	-4 -70 30	7792	7,27	<0,001
Küme 4	Sol MTG, AG	DMN, VIS	-50 -74 18	447	6,44	<0,001
Küme 5	Sağ AG	SMN, SAL/VENT	46 -30 18	167	4,59	0,044

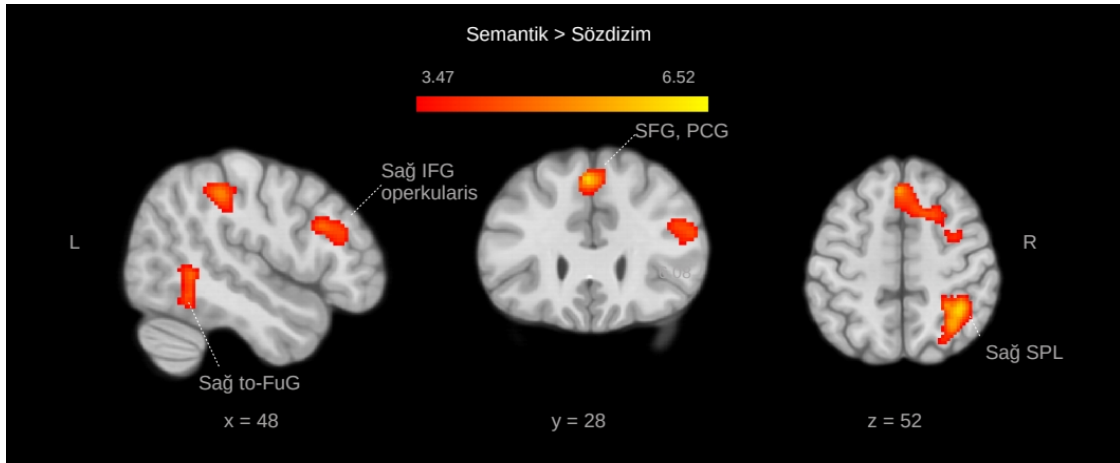
Küme 6	Sağ AG, TPJ p	DMN	50	-52	22	163	4,57	0,048
Sözdizim < Dinlenim								
Küme 1	Sağ AG, MTG	DAN, DMN	48	-66	20	1101	8,89	<0,001
Küme 2	Sağ STG ve rolandik operkulum	SMN	62	-8	6	990	6,69	<0,001
Küme 3	Sağ medyal SFG	DMN	16	36	8	1368	6,55	<.001
Küme 4	PCu, kuneus, oksipital kutup	VIS	-8	-98	16	739	6,50	<0,001
Küme 5	Sağ parahippokampal girus, lingual girus	VIS	22	-58	-10	428	6,13	<0,001
Küme 6	Sol SFG	DMN	-12	38	44	412	6,12	<0,001
Küme 7	PCu, MC	SAL/VENT	18	-46	48	872	5,91	<0,001
Küme 8	Sağ frontal kutup	DMN	22	28	46	417	5,75	<0,001
Küme 9	Sol insular korteks	SAL/VENT	-34	2	16	438	5,71	<0,001
Küme 10	Sol parahippokampal girus, lingual girus	VIS	-24	-44	-12	397	5,63	<0,001
Küme 11	Sağ insular korteks	SAL/VENT	40	-6	-8	157	5,40	0,045
Küme 12	Sağ SFG	DMN	50	42	4	300	4,98	0,002
Küme 13	Sol kalkarin, PCu, PCC	DMN, VIS	-14	-62	16	183	4,92	0,025
Küme 14	PCu	DMN	-42	-76	38	170	4,89	0,033

AG: angular girus, MC: orta singulum, MTG: orta temporal girus, PCC: posteriyor singulat korteks, PCu: prekunues, SFG: süperiyor frontal girus, STG: süperiyor temporal girus, TPJ p: posteriyor temporo-pariyetal bileşke DMN: olağan durum ağı, SAL/VENT: dikkat çekerlik/ventral dikkat ağı, SMN: somato-motor ağı, VIS: görsel ağı.

4.2.2. Çalışma belleği ile ilgili aktivasyonların semantik ve sözdizimsel süreçler arasında karşılaştırılması

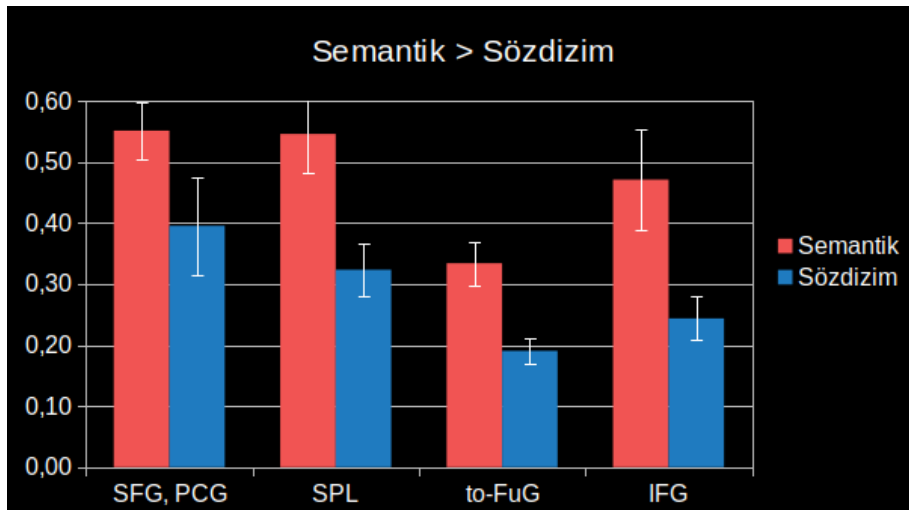
4.2.2.1. Semantik > sözdizim

Semantik görevde sözdizime göre sağ hemisferde IFG pars operkularis, SPL ve to-FuG ve bilateral SFG, PCG'de artmış aktivasyon gözlemlendi (Şekil 4-6, Tablo 4-3). Anlamlı fark bulunan alanlardan elde edilen ortalama beta değerleri, bu bölgelerde iki koşulda da aktivasyon artışı olduğunu, ancak aktivasyonun semantik koşulda sözdizime göre daha yüksek olduğunu göstermektedir (Şekil 4-7). Schaefer ve ark.'nın (2018) parselasyonu ile karşılaştırıldığında, bu alanlar, VIS, DAN, CONT ve SAL/VENT ağ düğümleri ile uyumludur.



Şekil 4-6: Semantik çalışma belleği ödevinde sözdizimsel işleme ödevine göre aktivasyon artışı gözlenen alanlar.

Renk çubuğu t değerlerini göstermektedir. L:sol, R:sağ, IFG: inferior frontal girus, PCG: paracingulat girus, SFG: süperiyor frontal girus, SPL: süperiyor pariyetal lobül, to-FuG: temporo-okspital fusiform girus.



Şekil 4-7: Semantik çalışma belleği ödevinde sözdizimsel işleme ödevine göre artan aktivasyon gözlenen alanlarda etki büyüklüğü grafikleri.

Her bir ilgi bölgesi için kırmızı barlar semantik, mavi barlar sözdizim koşullarındaki ortalama beta değerlerini göstermektedir. Tüm bölgelerde semantik ödev lehine olmak üzere her iki ödevde de aktivasyon artışı gözlemlendiği görülmektedir. Hata çubukları ortalama hatayı belirtmektedir. IFG: inferiyor frontal girus, SFG: süperiyor frontal girus, SPL: süperiyor pariyetal lobül, PCG: parasingulat girus, to-FuG: temporo-okspital fusiform girus.

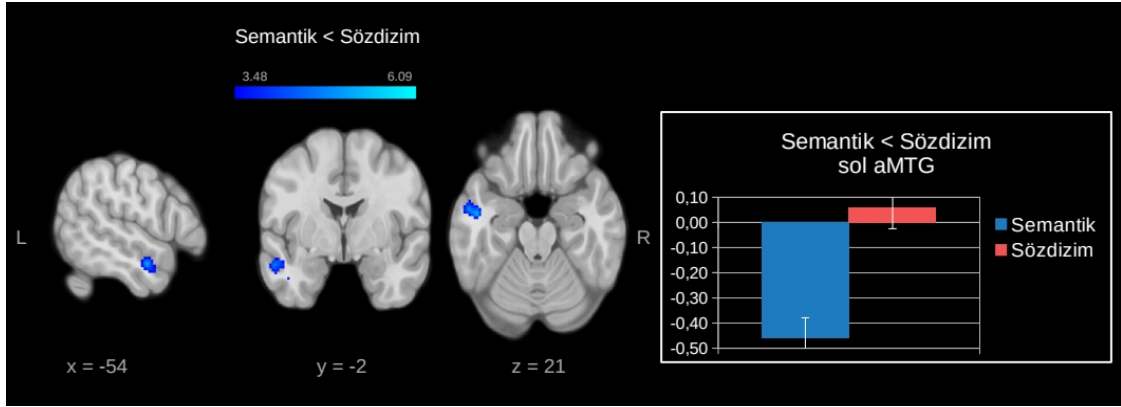
Tablo 4-3: Semantik ve sözdizimsel çalışma belleği ödevlerinin karşılaştırmasında anlamlı aktivasyon değişimi gözlenen bölgeler

Anatomik bölge		Schaefer atlasına göre ağ karşılığı	MNI Koordinatları			Voksel sayısı	t	pFWE
			x	y	z			
Semantik > Sözdizim								
Küme 1	Sağ SPL	DAN	30	-56	46	1595	6,49	<0,001
Küme 2	Sağ to-FuG (BA 37)	VIS	42	-50	-8	539	6,28	0,001
Küme 3	Bilateral SFG (BA 6 ve 8), PCG	SAL/VENT	-2	28	50	891	6,03	<0,001
Küme 4	Sağ , IFG pars operkularis, (BA 44)	DAN, CONT	50	20	26	313	4,69	0,019
Semantik < Sözdizim								
Küme 1	Sol anterior MTG	DMN	-44	6	-30	261	6,06	0,037

IFG: inferiyor frontal girus, SFG: süperiyor frontal girus, SPL: süperiyor pariyetal lobül, MTG: orta temporal girus, PCG: parasingulat girus, CONT: kontrol ağı, DAN: dorsal dikkat ağı, DMN: olağan durum ağı SAL/VENT: dikkat çekicilik/ventral dikkat ağı, VIS: görsel ağ.

4.2.2.2. Semantik < Sözdizim

Sözdizimsel süreçte semantik çalışma belleği koşuluna göre sol MTG anterior bölümde anlamlı aktivasyon farkı gözlemlendi (Şekil 4-8, Tablo 4-3). Bu kümede semantik çalışma belleği ödevinde belirgin deaktivasyon, sözdizimde ise bu deaktivasyonun ortadan kalktığı görülmektedir. Schaefer ve ark.'nın (2018) atlasında bu alan DMN temporal parseli ile uyumludur.



Şekil 4-8: Sözdizimsel çalışma belleği ödevinde semantik çalışma belleğine göre aktivasyon artışı gözlenen alanlar.

Solda MNI şablonu üzerinde aktivasyon değişimi gözlenen küme, sağdaki grafikte kümenin semantik ve sözdizim koşullarında ortalama regresyon katsayıları (beta değerleri) görülmektedir. Regresyon katsayılarından, bu bölgenin semantik görevde belirgin derecede baskılandığı, sözdizimsel ödevde ise bir baskılanma olmadığı görülmektedir. Mavi bar semantik, kırmızı bar sözdizim ödevini belirtmektedir. Hata çubukları ortalama hatayı belirtmektedir. Renk çubuğu t değerlerini göstermektedir. L:sol, R:sağ, aMTG: anterior orta temporal girus.

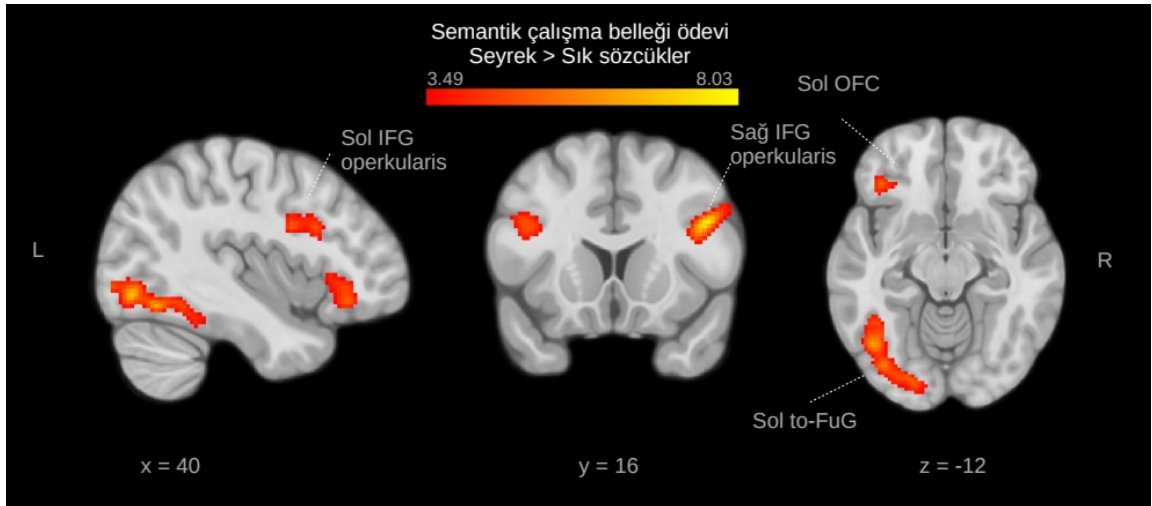
4.2.3. Semantik çalışma belleği ödev koşullarında fMRG aktivasyonları

Semantik çalışma belleği ödevinde sözcük sıklık etkisi (seyrek ve sık sözcük koşulları), uzaklık etkisi (uzak ve yakın koşullar) ve sözcük sıklığı ile uzaklık etkileşimi anlamlı aktivasyon değişikliklerine yol açtı (Tablo 4-4).

4.2.3.1. Semantik sözcük sıklık etkisi

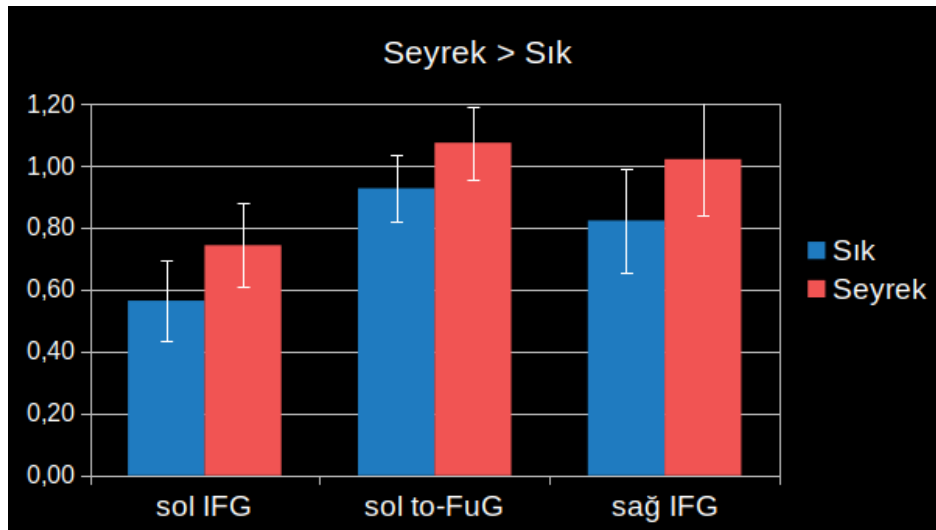
Seyrek > sık sözcükler

Bilateral IFG pars operkularis ve sol OFC ve to-FuG seyrek karşılaşılan sözcüklerde sık kullanılan sözcüklere göre daha yüksek aktivasyon gösterdi (Şekil 4-9, 4-10, Tablo 4-4). Schaefer ve ark.'nın (2018) atlası ile karşılaştırıldığında, bu alanlar, DAN ve CONT ile uyumludur.



Şekil 4-9: Semantik çalışma belleği ödevinde seyrek sözcük koşulunda sık sözcük koşuluna göre aktivasyon artışı gözlenen alanların MNI şablonu üzerinde gösterimi.

Renk çubuğu minimum ve maksimum t değerini göstermektedir. L:sol, R:sağ, IFG: inferior frontal girus, OFC: orbitofrontal korteks, to-FuG: temporo-oksipital fusiform girus.

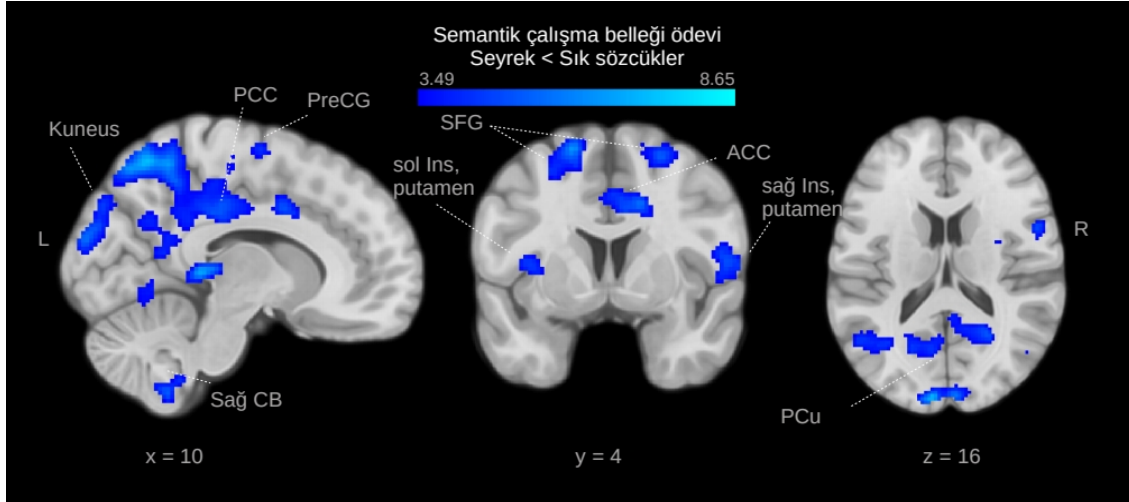


Şekil 4-10: Semantik çalışma belleği ödevinde seyrek sözcük koşulunda sık sözcük koşuluna göre aktivasyon artışı gözlenen alanların etki büyüklükleri.

Her bir ilgi bölgesi için kırmızı çubuklar seyrek, mavi çubuklar sık sözcük koşullarındaki ortalama beta değerlerini göstermektedir. Tüm bölgelerde her iki koşulda da aktivasyon artışı olduğu, ancak aktivasyonların seyrek sözcüklerde daha yüksek olduğu görülmektedir. Hata çubukları ortalama hatayı belirtmektedir. IFG: inferior frontal girus, to-FuG: temporo-oksipital fusiform girus.

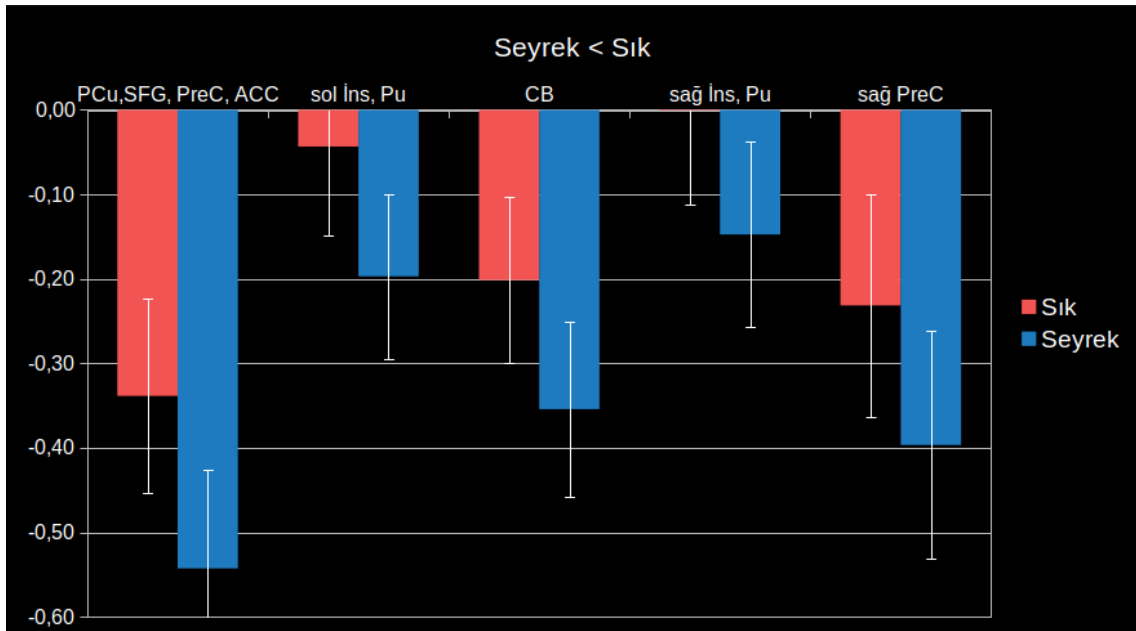
Seyrek < sık sözcükler

Seyrek karşılaşılan sözcüklerde sık kullanılan sözcüklere göre, bilateral PCu, kuneus, PCC, presantral girus, ACC, bilateral posteriyor insula, putamen ve lateral oksipital alanlarda ve sağ CB lobul VIII b'de daha fazla deaktivasyon gözlemlendi (Şekil 4-11, 4-12, Tablo 4-4). Schaefer ve ark.'nın (2018) atlası ile karşılaştırıldığında, bu alanlar, çoğunlukla DMN, SAL/VENT, VIS, SMN ile uyumludur.



Şekil 4-11: Semantik çalışma belleği ödevinde seyrek sözcük koşulunda sık sözcük koşuluna göre daha düşük aktivasyon gözlenen alanların MNI şablonu üzerinde gösterimi.

Renk çubuğu minimum ve maksimum t değerini göstermektedir. L:sol, R:sağ, ACC: anterior singulat korteks, CB: serebellum, Ins: insula, PCC: posteriyor singulat korteks, PCu: prekuneus, PreCG: presantral girus, SFG: süperior frontal girus



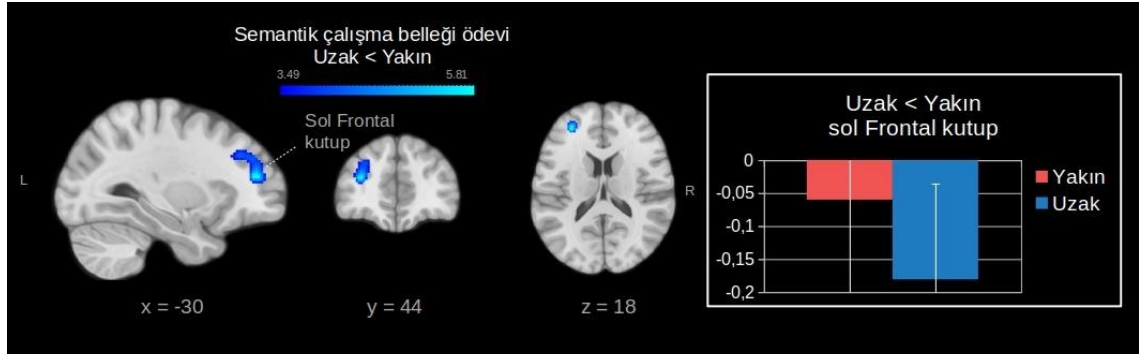
Şekil 4-12: Semantik çalışma belleği ödevinde seyrek sözcük koşulunda sık sözcük koşuluna göre daha düşük aktivasyon gözlenen alanların etki büyüklüğü grafikleri.

Her bir ilgi bölgesi için mavi barlar seyrek, kırmızı barlar sık sözcük koşullarındaki ortalama beta değerleri göstermektedir. Tüm bölgelerde her iki koşulda da deaktivasyon olduğu, ancak bu deaktivasyonların seyrek sözcükler işlenirken daha baskınlaştığı görülmektedir. Hata çubukları ortalama hatayı belirtmektedir. ACC: anterior singulat korteks, CB: serebellum, İns: insula, PCC: posteriyor singulat korteks, PreC: presantral girus, PCu: prekuneus, Pu: putamen, SFG: süperior frontal girus.

4.2.3.2. Semantik – uzaklık etkisi

Uzak < yakın

Sol frontal kutupta uzak koşulda yakın koşula göre daha fazla deaktivasyon gözlemlendi (Şekil 4-13, Tablo 4-4). Schaefer ve ark.'nın (2018) atlası ile karşılaştırıldığında bu alan SAL/VENT ağının prefrontal korteks parseline karşılık gelmektedir.



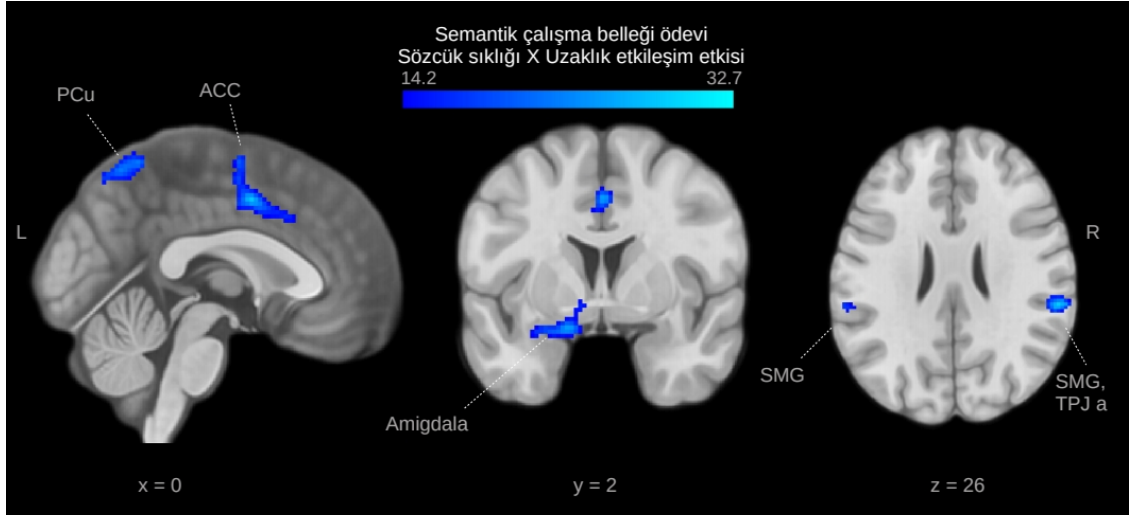
Şekil 4-13: Semantik çalışma belleği ödevinde uzak koşulda yakına göre artmış deaktivasyon gözlenen frontal kutup.

Solda MNI şablonu üzerinde aktivasyon değişimi gözlenen küme, sağdaki grafikte kümenin yakın ve uzak koşullardaki ortalama regresyon katsayıları (beta değerleri) görülmektedir. Mavi çubuk uzak, kırmızı çubuk yakın koşulu belirtmektedir. Hata çubukları ortalama hatayı belirtmektedir. Renk çubuğu t değerlerini göstermektedir. L:sol, R:sağ.

4.2.3.3. Sözcük sıklığı ve uzaklık koşulları arasındaki etkileşim etkisi

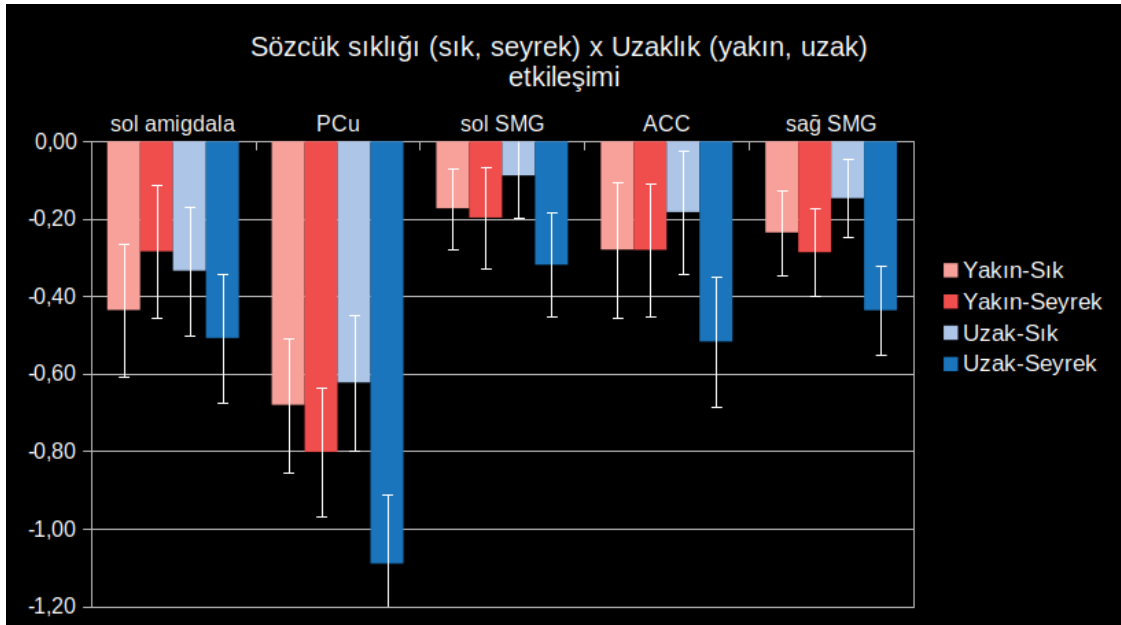
Sözcük sıklığı (sık, seyrek) ile birinci sözcük ve hedef sözcük arasındaki uzaklık (yakın, uzak) koşullar arasında etkileşim etkisi istatistiksel olarak anlamlı olarak gözlemlendi (Şekil 4-14, 4-15, Tablo 4-4). Bu alanlar; bilateral SMG, pariyetal operkulum ile sol postsantral girus, sol amigdala ve ACC ile PCu olarak yer aldı. Bu alanlardaki deaktivasyonlarda değişimler gözlemlendi. Yakın koşulda seyrek ve sık sözcüklerin deaktivasyon değerleri birbirine yakın, bazı alanlarda seyrek sözcük koşulunda, diğer

alanlarda sık koşulda daha yüksek iken, uzak koşulda tüm alanlarda seyrek sözcüklerde daha yüksek deaktivasyon (daha yüksek baskılanma) gözlemlendi. Bu alanlar genel olarak SAL/VENT ile uyumludur.



Şekil 4-14: Semantik çalışma belleği ödevinde sözcük sıklığı (seyrek, sık) ile uzaklık (uzak, yakın) koşulları arasındaki etkileşim etkisi.

Sonuçlar MNI şablonu üzerinde gösterimi. Renk çubuğu minimum ve maksimum F değerini göstermektedir. L:sol, R:sağ, ACC: anterior singulat korteks, SMG: supramarginal girus, PCu: prekuenus, TPJ a: anterior temporo-pariyetal bileşke.



Şekil 4-15: Semantik çalışma belleği ödevinde sözcük sıklığı (sık, seyrek) ile uzaklık (yakın, uzak) koşulları arasındaki etkileşim etkisi gözlenen alanların etki büyüklüğü grafikleri.

Her ilgi bölgesinin yakın sık ile seyrek, uzak sık ile seyrek koşullarının ortalama beta değerleri sunulmuştur. Yakın-sık sözcükler koşulu açık kırmızı, yakın-seyrek kırmızı, uzak-sık açık mavi, uzak-seyrek mavi renkli ortalama beta değerlerini gösteren barlar ile belirtilmiştir. Tüm bölgelerde tüm koşullarda deaktivasyon olduğu görülmektedir. Yakın koşulda seyrek ve sık sözcüklerin deaktivasyon değerleri birbirine yakın, bazı alanlarda seyrek sözcük koşulunda, diğer alanlarda sık koşulda daha yüksektir. Uzak koşulda ise tüm alanlarda seyrek sözcüklerde daha yüksek deaktivasyon görülmektedir. Hata çubukları ortalama hatayı belirtmektedir. ACC: anterior singulat korteks, PCu: prekuneus, SMG: supramarginal girus.

Tablo 4-4: Semantik çalışma belleği ödevinde sözcük sıklığı, uzaklık ve sözcük sıklığı ile uzaklık etkileşiminde anlamlı aktivasyon değişimi gösteren bölgeler.

	Anatomik bölge	Schaefer atlasına göre ağ karşılığı	MNI Koordinatları			Voksel sayısı	t/F	pFWE
			x	y	z			
Semantik sözcük sıklık etkisi								
Seyrek > sık sözcükler								
Küme 1	Sağ IFG pars operkularis (BA 44)	DAN, CONT	44	18	28	579	7,98	<0,001
Küme 2	Sol to-FuG (BA 37)	DAN	-40	-76	-8	1336	6,98	<0,001
Küme 3	Sol IFG pars orbitalis (B 47), IFG pars operkularis (BA 44)	DAN, CONT	-38	32	-10	662	5,45	<0,001
Seyrek < sık sözcükler								
Küme 1	Sol presantral girus, bilateral SFG, ACC, PCu, kuneus	DMN, SAL/VENT, CONT, DAN	-30	-12	52	17258	8,60	<0,001
Küme 2	Sağ CB VIII b, IX		22	-54	-52	367	6,59	0,002
Küme 3	Sol insular korteks, putamen	SAL/VENT	-32	-4	0	619	6,26	<0,001
Küme 4	Sağ putamen, insular korteks	SAL/VENT	32	-10	0	394	5,65	0,001
Küme 5	Sağ presantral girus	SMN	56	6	12	249	4,98	0,015

Uzak < Yakın

Küme 1	Sol frontal kutup	SAL/VENT	-30	44	18	351	5,61	0,003
--------	-------------------	----------	-----	----	----	-----	------	-------

Sözcük sıklığı ve uzaklık etkileşimi

Küme 1	Sağ SMG, anterior TPJ	SAL/VENT	56	-26	18	383	32,56	<0,001
Küme 2	Sol SMG, parietal operkulum	SAL/VENT	-64	-26	18	200	29,26	0,012
Küme 3	ACC (BA 24)	SAL/VENT	0	0	44	277	28,54	0,002
Küme 4	Sol amigdala, enthorinal alan (BA 34)		-10	8	-14	232	27,28	0,006
Küme 5	PCu (BA 7)	DAN	-44	-34	60	634	26,94	<0,001

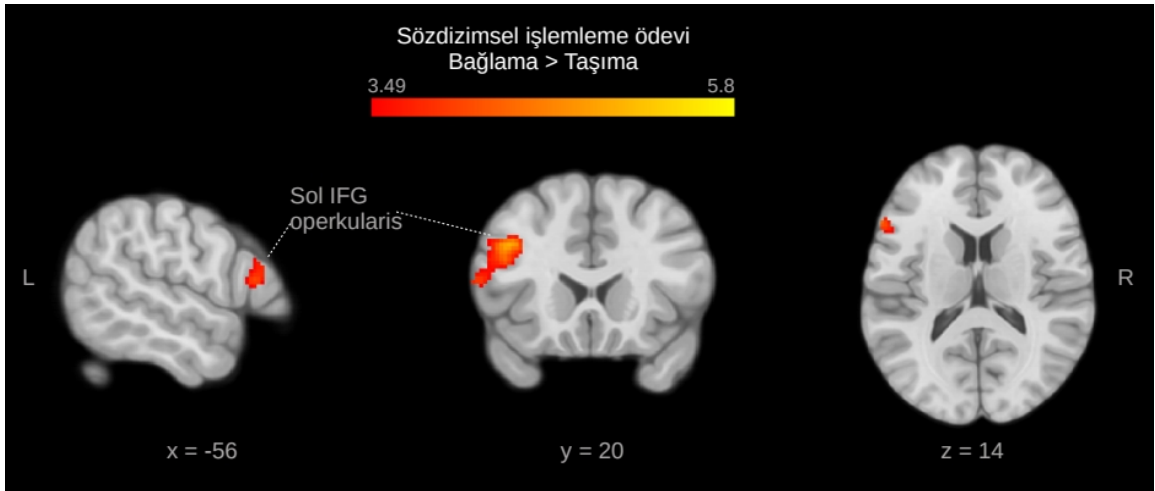
IFG: inferiyor frontal girus, CB: serebellum, SPL: süperiyor pariyetal lobul, SMG: supramarginal girus, TPJ: temporo-pariyetal bileşke, PCu: prekuneus, CONT: kontrol ağı, DAN: dorsal dikkat ağı, DMN: olağan durum ağı SAL/VENT: dikkat çekerlik/ventral dikkat ağı, SMN: somatomotor ağı, VIS: görsel ağı.

4.2.4. Sözdizimsel işleme ödev koşullarında fMRG aktivasyonları

Sözdizimsel işleme ödevinde sözdizimsel süreç türü etkisinde anlamlı aktivasyon değişimi gözlenirken, uzaklık etkisi ve etkileşim anlamlı bulunmadı.

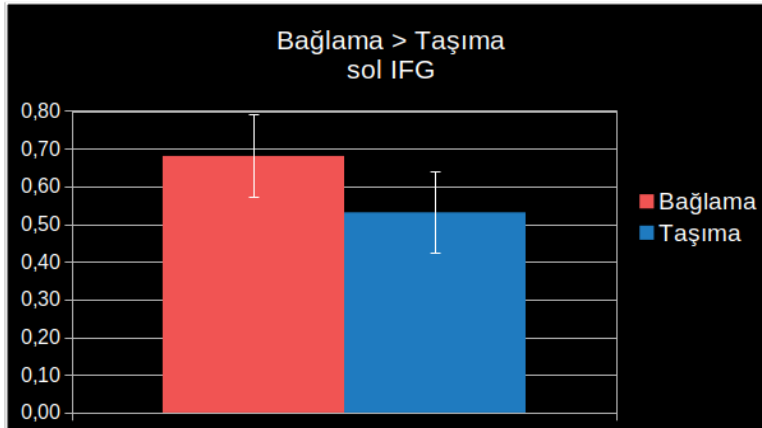
4.2.4.1. Sözdizimsel süreç türü etkisi**Bağlama > Taşıma**

Bağlama koşulunda taşıma koşuluna göre sol IFG pars operkulariste daha yüksek aktivasyon gözlemlendi (Şekil 4-16, 4-17, Tablo 4-5). Bu alan, Schaefer ve ark'nın (2018) atlasına göre DAN ve CONT ile uyumludur.



Şekil 4-16: Sözdizimsel işleme ödevinde bağlama koşulunda taşıma koşuluna göre aktivasyon artışı gözlenen alanlar.

Sonuçlar MNI şablonu üzerinde gösterilmiştir. Renk çubuğu minimum ve maksimum t değerini göstermektedir. L:sol, R:sağ, IFG: inferior frontal girus.

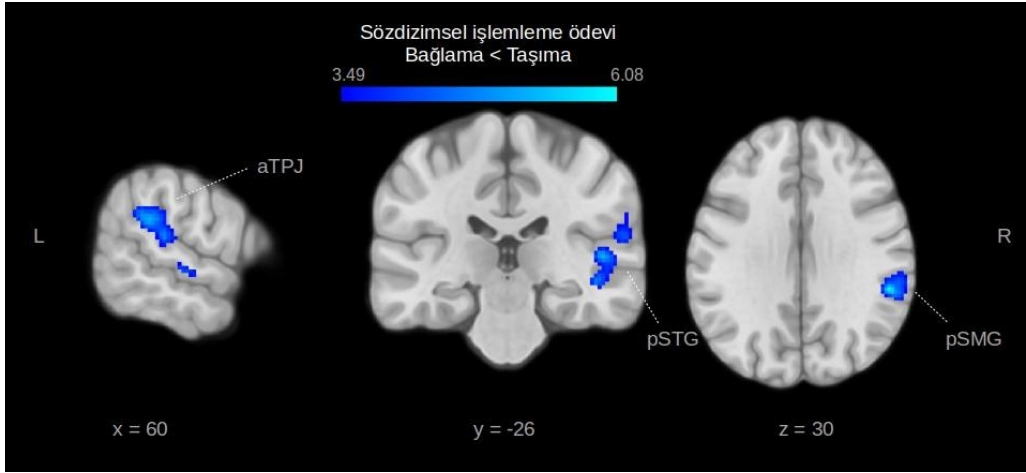


Şekil 4-17: Sözdizimsel işleme ödevinde bağlama koşulunda taşıma koşuluna göre aktivasyon artışı gözlenen alanların etki büyüklüğü grafiği.

Kırmızı çubuk bağlama, mavi çubuk taşıma koşulundaki ortalama beta değerlerini göstermektedir. Bölgede her iki koşulda da aktivasyon artışı olduğu, ancak aktivasyonların bağlama koşulunda daha yüksek olduğu görülmektedir. Hata çubukları ortalama hatayı belirtmektedir. IFG: inferior frontal girus

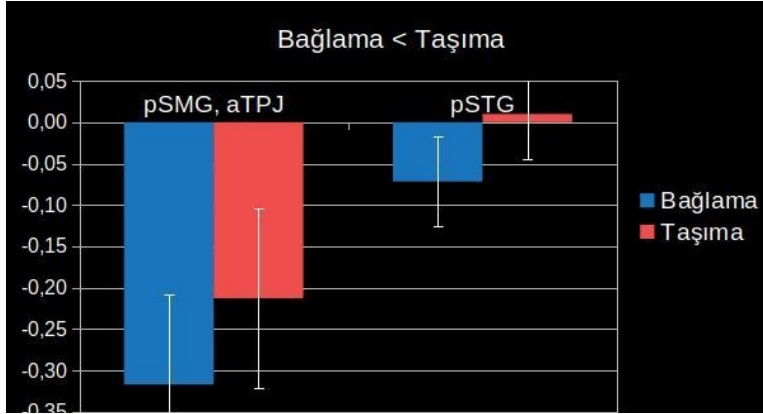
Bağlama < Taşıma

Sağ posteriyör STG ve SMG ile anterior TPJ'de bağlama koşulunda taşıma koşuluna göre daha yüksek deaktivasyon gözlemlendi (Şekil 4-18, 4-19, Tablo 4-5). Bu alanlar Schaefer ve ark.'nın (2018) atlasına göre DMN ve SAL/VENT parselleri ile uyumludur.



Şekil 4-18: Sözdizimsel işleme ödevinde bağlama koşulunda taşıma koşuluna göre daha fazla deaktivasyon gözlenen gözlenen alanlar.

Sonuçlar MNI şablonu üzerinde gösterilmiştir. Renk çubuğu minimum ve maksimum t değerini göstermektedir. L:sol, R:sağ, aTPJ: anterior temporo-pariyetal bileşke, pSMG: posteriyor supramarginal girus, pSTG: posteriyor süperiyor temporal girus.



Şekil 4-19: Sözdizimsel işleme ödevinde bağlama koşulunda taşıma koşuluna göre daha fazla deaktivasyon gözlenen alanların etki büyüklüğü grafikleri.

Solda pSTG, sağda pSMG, aTPJ kümelerine ait grafikler bulunmaktadır. Mavi çubuk bağlama, kırmızı çubuk taşıma koşulundaki ortalama beta değerlerini göstermektedir. Soldaki grafikte, pSMG ve aTPJ alanlarında her iki koşulda da deaktivasyon olduğu, ancak bu deaktivasyonun bağlama koşulunda taşımaya göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Sağdaki grafikte, pSTG bölgesinin bağlama koşulunda belirgin derecede deaktive olduğu, taşıma koşulunda ise deaktivasyon olmadığı görülmektedir. Hata çubukları ortalama hatayı belirtmektedir. aTPJ: anterior temporo-pariyetal bileşke, pSMG: posteriyor supramarginal girus, pSTG: posteriyor süperiyor temporal girus.

Tablo 4-5: Sözdizimsel işleme ödevinde bağlama ve taşıma koşullarının karşılaştırmasında anlamlı aktivasyon değişimi gözlenen bölgeler

Anatomik bölge		Schaefer atlasına göre ağ karşılığı	MNI Koordinatları			Voksel sayısı	t	pFWE
			x	y	z			
Sözdizimsel süreç türü etkisi								
Bağlama > Taşıma								
Küme 1	Sol IFG operkularis (BA 44)	DAN, CONT	-42	16	30	470	5,67	0,001
Bağlama < Taşıma								
Küme 1	Sağ posteriyor SMG, anterior TPJ	SAL/VENT	54	-38	30	356	5,94	0,004
Küme 2	Sağ posteriyor STG	DMN	56	-20	-2	306	5,33	0,008

IFG: inferiyor frontal girus, SMG: supramarginal girus, STG: süperiyor temporal girus, TPJ: temporo-pariyetal bileşke, CONT: kontrol ağı, DAN: dorsal dikkat ağı, DMN: olağan durum ağı SAL/VENT: dikkat çekerlik/ventral dikkat ağı.

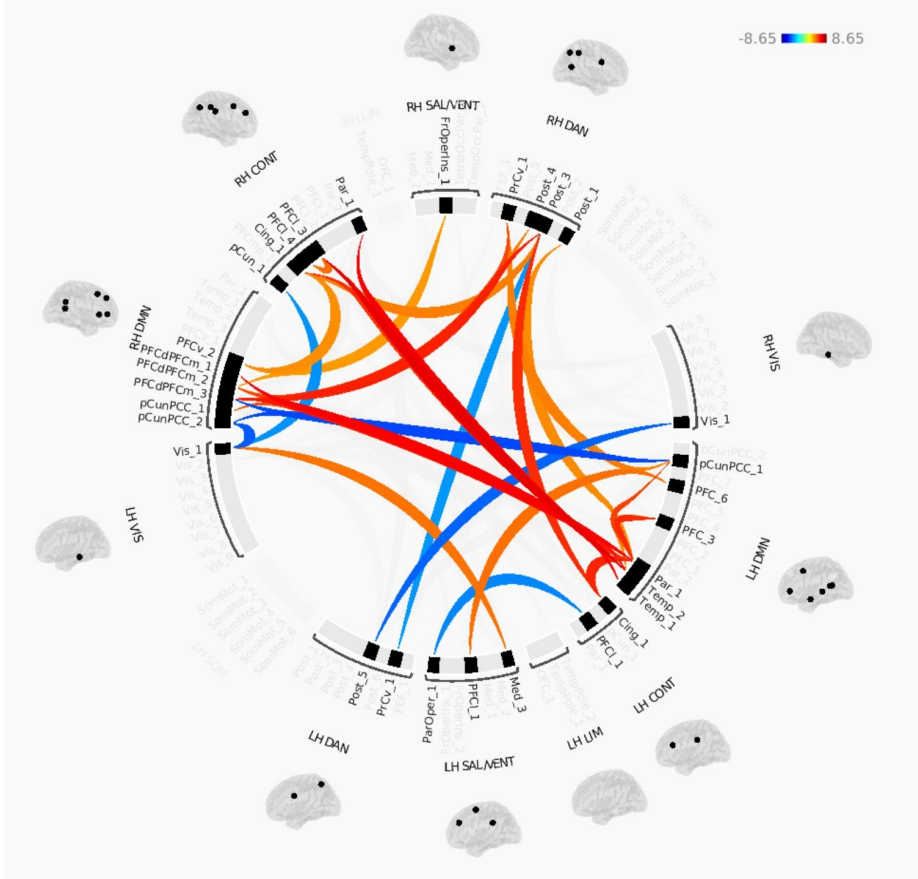
4.3. Fonksiyonel bağlantısallık analizi, ağ temelli istatistik bulguları

NBS sonucunda 31 ROI (Tablo 4-6) arasında 36 bağlantıdan oluşan alt ağda anlamlı fark saptandı. Bu bağlantılar arasında, 29 ikili bağlantı semantik çalışma belleği koşulunda sözdizimsel koşula göre daha yüksek fonksiyonel bağlantısallık gösterirken (kırmızı bağlantılar), 7 ikili bağlantı ise sözdizimsel işleme koşulunda semantik çalışma belleği ödevine göre daha yüksek bağlantısallık göstermekteydi (mavi bağlantılar) (Şekil 4-20).

Tablo 4-6: NBS analizi sonucunda elde edilen ağ yapısına dahil olan ROI'lerin Schaefer atlasındaki parsel isimleri, anatomik karşılıkları ve koordinatları.

Ağ	Parsel	Anatomik karşılık	MNI koordinatları		
			x	y	z
VIS	Sağ Vis1	Temporal fusiform korteks posteriyor	32	-32	-22
	Sol Vis 1	Parahippokampal girus posteriyor	-26	-34	-18
DMN	Sağ PFCv_2	İnferiyor frontal girus pars triangularis	50	28	0
	Sağ PFCdPFCm_1	Parasingulat girus	6	48	0

	Sağ PFCdPFCm_2	Frontal kutup	12	50	40
	Sağ PFCdPFCm_3	Medyal süperiyor frontal girus	26	24	50
	Sağ pCunPCC_1	Prekuneus/posteriyor singulat korteks	12	-54	14
	Sağ pCunPCC_2	Prekuneus/posteriyor singulat korteks	6	-52	30
	Sol PFC_3	Prarasingulat girus	-6	46	0
	Sol PFC_6	Orta frontal girus	-40	14	48
	Sol pCunPCC_1	Prekuneus/posteritor singulat	-12	-56	12
	Sol Par_1	Supramarginal girus	-58	-50	12
	Sol Temp_1	Orta temporal girus anterior	-56	-4	-20
	Sol Temp_2	Orta temporal girus posteriyor	-58	-32	-2
	Sağ PFCI_3	Frontal kutup	32	46	30
	Sağ PFCI_4	Orta frontal girus	44	16	44
	Sağ Cing_1	Posteriyor singulat	6	-28	34
CONT	Sağ pCun_1	Prekuneus	10	-66	42
	Sağ Par_1	Supramarginal girus	58	-38	44
	Sol Cing_1	Posteriyor singulat girus	-4	-26	34
	Sol PFCI_1	Orta frontal girus	-44	32	20
SAL/VENT	Sağ FrOperIns_1	Frontal operkulum, insula	-42	-2	-6
	Sol PFCI_1	Frontal kutup	-30	44	30
	Sol ParOper_1	Pariyetal operkulum	-58	-38	30
	Sol Med_3	Suplementer motor alan	-6	4	62
DAN	Sağ Post_1	Angular girus, lateral oksipital korteks	50	-62	16
	Sağ Post_3	Süperiyor pariyetal lobul	38	-46	50
	Sağ Post_4	Lateral oksipital, süperiyor	26	-66	52
	Sağ PrCv_1	İnferiyor frontal girus, pars operkularis	48	10	26
	Sol Post_5	Prekuneus	-6	-60	56
	Sol PrCv_1	İnferiyor frontal girus, pars operkularis	-48	6	28



Şekil 4-20: NBS sonucunda semantic süreçte sözdizimsel sürece göre artan ve azalan bağlantısallıklar.

Renk çubuğu t değerini göstermektedir. Sıcak (kırmızı) renkler semantik koşulda sözdizime göre daha yüksek bağlantısallığı; soğuk (mavi) renkler ise sözdizimsel işleme koşulunda semantik koşula göre daha yüksek bağlantısallığı göstermektedir. Küçük sagittal beyin görüntülerinde ağ düğümlerinin yerleri görülmektedir. RH: sağ hemisfer, LH: sol hemisfer. DMN: olağan durum ağı, CONT: kontrol ağı, SAL/VENT: dikkat çeriklik/ventral dikkat ağı, LIM: limbik ağ, DAN: dorsal dikkat ağı, VIS: görsel ağ.

4.3.1. Semantik çalışma belleği ödevinde sözdizimsel işleme ödevine göre daha yüksek fonksiyonel bağlantısallık gösteren ağlar

Ortaya çıkan ağ yapısında semantik koşulda sözdizime göre daha yüksek fonksiyonel bağlantısallık gösteren düğümler sağ hemisferde DAN, SAL/VENT, CONT ve DMN ağları ile sol hemisferde VIS, SAL/VENT, CONT ve DMN ağlarına dahildir (Şekil 4-20, kırmızı renk tonundaki bağlantılar). Semantik çalışma belleği ödevinin DMN ve CONT ağlarında ağ içi bağlantısallıklarda artışa yol açtığı, bunlardan DMN'nin ağ içi bağlantısallığının interhemisferik olarak da yüksek olduğu gözlenmektedir. Sağ DAN bilateral olarak DMN ve CONT düğümleriyle yüksek bağlantısallık gösterirken, intrahemisferik olarak da semantik koşulda farklı ağların

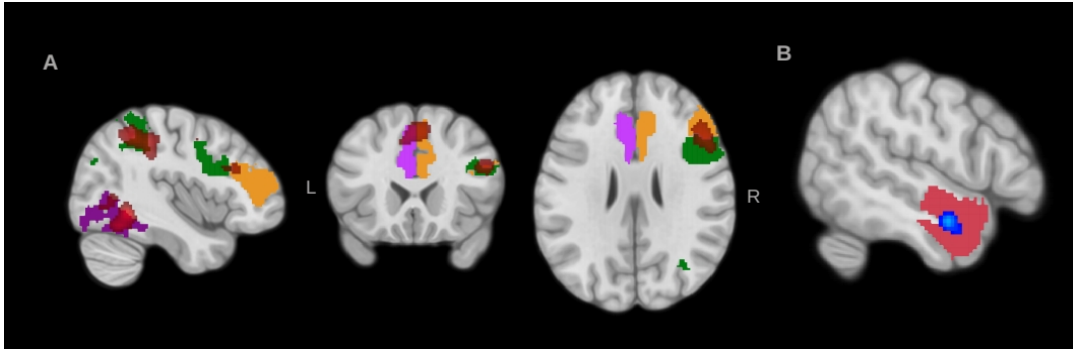
düğümüleri arasında yüksek bağlantısallık gözlenmektedir. DMN sağ hemisferde CONT, SAL/VENT ve DAN düğümleri ile, sol hemisferdeyse CONT ve SAL/VENT ile yüksek bağlantısallık göstermektedir.

4.3.2. Sözdizimsel işleme ödevinde semantik çalışma belleği ödevine göre daha yüksek fonksiyonel bağlantısallık gösteren alanlar

Sözdizimsel işleme sırasında semantik çalışma belleği ödevine göre fonksiyonel bağlantısallığı daha yüksek olan düğüm bölgeleri ise her iki hemisferde VIS, DAN, CONT ve DMN ile yalnızca sol hemisferde SAL/VENT ağlarına aitti. Düğümlerin en çok PCu/PCC ve posteriyor pariyetal alanlarda bulunduğu görülmektedir. Bu ağ yapısına sol hemisferde DAN ve CONT'un PFC düğümleri ile sağ hemisferde DMN'nin MPFC düğümü, VIS'de ise temporal düğümler katılmaktadır (Şekil 4-20, mavi bağlantılar). Sözdizimsel işleme koşulunda ağ içi bağlantısallıklar sadece DMN ve DAN ağlarının interhemisferik bağlantılarında semantik çalışma belleğine göre daha yüksek bulunmuştur. Ağlar arası bağlantısallıklar ise sol hemisferde CONT ağının PFCI düğümü ile SAL/VENT ağının pariyetal operkulum düğümü arasında görülmektedir. VIS'de ise temporo-okspital düğümler kontralateral hemisferdeki ağ düğümleriyle yüksek bağlantısallık göstermektedir. Sağ VIS'in, sol DAN ile, sol VIS'in ise sağ DMN ve CONT ile bağlantısallığı sözdizimsel işleme koşulunda daha yüksektir.

4.4. Semantik ve sözdizimsel süreçler arasında gözlenen aktivasyon ve fonksiyonel bağlantısallık farklarının mekansal olarak değerlendirilmesi

Semantik koşulda sözdizimsel sürece göre daha yüksek aktivasyon gözlenen alanlar, semantik koşulda bağlantısallık artışının gözleendiği ağ düğümleriyle mekansal olarak uyumluluk göstermektedir (Şekil 4-21 A). Semantik koşulda bağlantısallığını arttıran düğümlerden sağ DAN posteriyor pariyetal ve prefrontal, sağ CONT prefrontal ve sol SAL/VENT medyal (singulat korteks) düğümleri semantik koşulda daha yüksek aktivasyon gösteren alanlarla örtüşmektedir. Buna karşın yine semantik koşulda aktivasyonunu artıran to-FuG ile çakışan VIS ağına ait temporo-okspital düğümün ise semantik koşulda sözdizimsel koşula göre daha düşük fonksiyonel bağlantısallık gösterdiği saptanmıştır (Şekil 4-21 A). Ayrıca, semantik koşulda daha fazla deaktivasyon gösteren sol anterior MTG ise yine semantik koşulda bağlantısallık artışı gösteren DMN'nin temporal düğümü ile örtüşmektedir (Şekil 4-21 B).



Şekil 4-21: Semantik koşulda sözdizimsel sürece göre aktivasyon ve deaktivasyon artışı gözlenen alanlar ile NBS sonucu oluşan alt ağlardan örtüşen düğümlerin karşılaştırması.

Aktivasyon sonuçları MNI şablonu üzerinde gösterilmektedir. Ağ düğümleri Schaefer 100 parsellik atlası ait parsellerdir. A: Semantik koşulda sözdizime göre aktivasyonu artan alanlar kırmızı ile gösterilmektedir. Yeşil alan: dorsal dikkat, sarı alan: kontrol, eflatun alan: dikkat çekerlik/ventral dikkat, mor alan: görsel ağ parsellerine karşılık gelmektedir. B: Semantik koşulda sözdizime göre deaktivasyonu artan alan mavi ile gösterilmiştir. Füsy alan: olağan durum ağına ait parseli göstermektedir.

5. TARTIŞMA

Bu tezde, ilki semantik kategoriler, ikincisi sözdizimsel süreçler bağlamında olmak üzere sözel çalışma belleğine ilişkin beyinde ortaya çıkan aktivasyon ve fonksiyonel bağlantısallık değişimlerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Öncelikle, semantik ve sözdizimsel süreçlerle çalışma belleği arasındaki ilişkiler, ayrı olarak ele alınmıştır. Daha sonra, semantik ve sözdizimsel süreçlerin etkileri birbirleriyle karşılaştırılarak, sözel çalışma belleği ile ilintili olarak bu iki sürecin gerek aktivasyon gerekse fonksiyonel bağlantısallık bağlamında beyinde ortaya çıkardıkları farklar araştırılmıştır. Son olarak, sözel çalışma belleğinin nöral karşılıkları semantik ve sözdizimsel görevler içinde faktöriyel tasarım ile ortaya konulmaya çalışılmıştır. Sözel çalışma belleği üzerinde semantik süreçlerin etkisi, sözcüklerin gündelik lisanda kullanım sıklığı ve referans kategori ile sözcüğün sunumu arasında geçen süreyi ifade eden uzaklık değişkenleri modüle edilerek incelenirken, sözdizimsel sürecin etkisi ise Türkçedeki bağlama ve taşıma sözdizimsel süreçlerinin karşılaştırmalı analizi ve bağlanan veya taşınan sözcüğün referans noktasına uzaklığı değiştirilerek değerlendirilmiştir.

Aşağıdaki bölümlerde, ilk olarak çalışma belleğine gereksinen semantik ve sözdizimsel görevler sırasında gözlenen aktivasyon değişimleri özetlenmiş, ardından her iki ödev koşulunda çalışma belleği yüküne özgü aktivasyon değişimleri ele alınmıştır. Semantik çalışma belleği ödevi, sözcük sıklık ve uzaklık etkileri ile bunlar arasındaki etkileşim; sözdizimsel süreçler ise bağlama ve taşıma sözdizimsel süreç türleri arasındaki farklılıklar ile ele alınmıştır. İkinci bölümdeyse, semantik çalışma belleği ve sözdizimsel süreç ödevleri arasındaki aktivasyon ve fonksiyonel bağlantısallık kontrastları ele alınarak bu iki sürecin beyindeki nöral korelatları karşılaştırılmıştır.

5.1. Sözel çalışma belleğinde semantik süreçler

5.1.1. Semantik çalışma belleği sürecinde aktivasyon ve deaktivasyon

Semantik kategorilere ilişkin çalışma belleği ödevi sırasında, her denemenin başlangıcında belirlenen kategoriyle bunu izleyen ardışık sözcükler arasındaki uyumu değerlendirme sırasında aktivasyon gözlenen beyin bölgeleri bilateral IFG pars operkularis (BA 44), medyal SFG ve PCG, SMA (BA 6), oksipital alanlar (BA 18 ve

19), to-FuG (BA 37) ile sol insular korteks ve OFC'dir (BA 47). Semantik işleme ile doğrudan ilişkilendirilen beyin yapılarının yanında bilateral olarak geniş bir alana yayılan bu aktivasyonlar değerlendirildiğinde, frontal ve medyal frontal alanlar ve oksipital girustaki bilateral yapıların DAN, CONT, SAL/VENT ve VIS alanlarına karşılık geldiği saptanmıştır (Schaefer ve ark. 2018). Bu yaygın aktivasyon örüntüsü, sözel çalışma belleği görevinin semantik işlemlemeyle ilgili alanların yanında dikkat ve yürütücü işlevlerle ilgili ağların her iki hemisferde yaygın katılımını gerektirdiğini ortaya koymaktadır.

Bulgularımız, literatürde sözel çalışma belleği süreçlerine ilişkin nöral yapıları inceleyen çalışmalar ile uyumludur. Literatürde bu sürece katılan kortikal yapılar arasında genel olarak, lateral ve medyal PMC, dACC, dorsolateral ve ventrolateral PFC ile posteriyor pariyetal korteks öne çıkmaktadır (Wager ve Smith 2003; Owen ve ark. 2005; Rottschy ve ark. 2012; D'Esposito ve Postle 2015; Ivanova ve ark. 2018). Rottschy ve ark. (2012) çalışma belleğine ilişkin sağlıklı katılımcılarla gerçekleştirilmiş 189 fMRG çalışmasının meta analizinde yaygın bilateral FPN aktivasyonu bulgusunu elde etmişlerdir. Görsel olarak sunulmuş sözel çalışma belleği görevlerine ilişkin aktivasyon bildirilen bulguların diğer bir meta analizinde, bilateral olarak frontal alanların katılım gösterdiği ortaya konmuştur (Emch ve ark. 2019). Yazarlar, semantik süreçlerde sol hemisfer baskınlığına ilişkin genel görüşün aksine, N-geri gibi sözel çalışma belleği görevlerinde sağ IFG katılımının öne çıktığını ileri sürmüşlerdir (Emch ve ark. 2019). Buna karşın, çalışma belleğine mutlaka gereksinen sözdizimsel süreçlerde ise sol hemisferin daha öne çıktığı ileri sürülmüştür (Shivde ve Thompson-Schill 2004; Shivde ve Anderson 2011; Humphreys ve ark. 2015). Semantik çalışma belleği görevinde IFG de dahil olmak üzere oldukça simetrik bir aktivasyon örüntüsü saptamış olmamız yukarıdaki bulguları destekler niteliktedir. Bu aktivasyonların yanında, deaktivasyon gözlenen yaygın bir örüntü de söz konusudur. Semantik çalışma belleği sürecinde genel olarak MPFC, PCu, TPJ ve PCC bölgelerinde deaktivasyon oluşmuştur. Bu alanlar, görev sırasında deaktivasyonunu beklediğimiz DMN'ye ek olarak, DMN dışındaki posteriyor ve ventral bölgeleri de kapsamaktadır. Çeşitli ödevlerin uygulanışında deaktivasyon gözlenen alanların jenerik olarak DMN'ye dahil edilmeyen bölgelere de yayıldığı önceki çalışmalarda bildirilmiştir (Toması ve ark. 2006). Ayrıca, TPJ ve DMN alanlarının eş zamanlı deaktivasyonu özellikle çalışma belleği sürecinde önemli bir özellik olarak gözlenmiştir (Anticevic ve ark. 2010;

Harrison ve ark. 2011). Deaktivasyonların anatomik yayılımına yönelik bulgularımız bu çalışmaları desteklemekte olup, semantik bileşeni olan bir çalışma belleği ödevinde DMN dışı ventral ve posteriyor alanlarda deaktivasyonu ortaya çıkarmaktadır.

5.1.2. Semantik çalışma belleği ödevinde koşullar arasında aktivasyon değişimleri

Seyrek karşılaşılan sözcükler koşulunda sık karşılaşılan sözcükler koşuluna göre aktivasyon artışı, ödev sırasında dinlenim durumuna kıyasla aktivasyon artışı gözlediğimiz alanlar olan bilateral IFG’de, sol hemisferde ise BA 47’de ve to-FuG’da yer almaktadır. Davranışsal bulgular değerlendirildiğinde, yalnızca sözcük sıklığı etkisi yanıt doğruluğu ve reaksiyon süresinde anlamlı etki göstermiştir. Seyrek sözcük koşulunda sık sözcük koşuluna göre doğruluk oranı ve yanıt hızı düşmüştür. Bu doğrultuda, seyrek sözcük koşulunun sık sözcük koşuluna göre daha zor olup, çalışma belleği yükünde oluşturduğu etkinin aktivasyon artışına yansıdığı söylenebilir. Bilateral IFG alanlarının aktivasyonunun ödev gereklilikleri ve kognitif yük ile ilintili olduğu öne sürülmektedir. Örneğin; Höller-Wallscheid ve ark. (2017) fMRG çalışmalarında, dorsolateral ve anterior PFC’nin çeşitli çalışma belleği ödevlerinde katılımını göstermişlerdir. Ödevin modalitesinden (sözel, görsel) bağımsız olarak, kolay koşullarda yalnızca sol hemisferde, buna karşın çalışma belleğinde yük artışına neden olan zor koşullarda ise prefrontal alanlarda bilateral aktivasyon gözlenmiştir (Höller-Wallscheid ve ark. 2017).

Buna ek olarak, bilateral IFG katılımına yönelik bulgumuzun, DAN bağlamında değerlendirilmesi mümkündür. Seyrek sözcük koşulundaki aktivasyon artışı ile birlikte, DMN ve posteriyor pariyetal, SAL/VENT alanlarında deaktivasyon gerçekleşmiştir. Ayrıca, sözcük sıklığı ve uzaklık arasındaki etkileşim etkisi; amigdala ve PCu ile ACC ve TPJ alanlarında, seyrek sözcüklerde uzaklık ile birlikte artan baskılanma olarak öne çıkmaktadır. Uzaklık etkisi incelendiğinde ise sol frontal kutupta deaktivasyon artışı gözlenmiştir. SAL/VENT tipik olarak, bir ödevdeki davranış amacına uygun, görece sıklığı düşük veya beklenmedik olarak gerçekleşen olaylarda aktivitesini arttırmakta olup (Vossel ve ark. 2014), uyaran güdümlü dikkat kontrolünde yer almaktadır (Corbetta ve Shulman 2002). DAN etkinliği, yukarıdan aşağı yönelmiş dikkat süreçlerinde; örneğin; görsel tarama veya yüksek kısa süreli görsel bellek yükü olduğu durumlarda, dikkatin dışı yönelimini gerektiren, hedef odaklı davranışta yer alır (Szczepanski ve ark. 2013; Vossel ve ark. 2014). Bu sırada, TPJ gibi ventral alanlardaki

aktivasyon bastırılmaktadır (Shulman ve ark. 2003; 2007; Solís-Vivanco ve ark. 2021). SAL/VENT deaktivasyonu, bir görsel arama dizisinde, dikkat çekici ve hedef olmayan uyaranların, uyaranla ilgili bilgi taşınması durumunda ise artan aktivasyon yönünde değişmektedir (Geng ve Mangun 2011). DAN sözel ve görsel çalışma belleği koşullarında yer alıp, görevle ilgili, yukarıdan aşağıya dikkat kontrolü ile ilişkilendirilir (Majerus ve ark. 2017). Majerus ve ark. (2016), DAN'daki nöral paternlerin sözel ve görsel modaliteler arasındaki çalışma belleği yükünü öngörücü olduğunu gözlemlemiştir. Kısa süreli bellek yükü arttığında, DAN alanlarında aktivasyon ve ventral dikkat alanlarında deaktivasyon gözlenmektedir. Görsel kısa süreli bellek ödevlerinin uygulanması sırasında, bu iki ağın birbirine zıt aktivasyon örüntüsü gösterdiği bilinmektedir (Todd ve ark. 2005; Anticevic ve ark. 2010; Matsuyoshi ve ark. 2010). Örneğin, görsel kısa süreli bellek yükünde artış sırasında IPS aktivasyonunun yükselmesine karşın TPJ deaktive olmaktadır (Todd ve ark. 2005). Ödev uygulanması sırasında hedef odaklı davranışa yönelik dikkat gereksinimi yüksek olduğunda, uyaran güdümlü dikkat devre dışı bırakılır ve ödev ile ilgisi olmayan uyaranlardan dolayı dikkatin dağılması önlenerek, başarılı kısa süreli bellek performansı gerçekleştirilir (Shulman ve ark. 2007). Majerus ve ark. (2012), dikkat ağlarının görsel kısa süreli bellek ödevlerinde gözlenen bu ilişkisini, sözel kısa süreli bellek koşulunda incelemiştir. Sözel kısa süreli bellek yükü arttığında, DAN aktivasyonu artmış, ventral dikkat alanları ise deaktive olmuştur (Majerus ve ark. 2012). Bulgularımız, sözel çalışma belleği süreçlerinde DAN alanlarındaki aktivasyonu SAL/VENT deaktivasyonu ile birlikte ortaya çıkarmasının yanı sıra, bu aktivasyon ve deaktivasyonun sözcük sıklığı ile belirlenen semantik zorluk seviyesine göre değiştiğini göstermektedir. Bu doğrultuda, ödev koşullarının zorluğuna göre, yukarıdan aşağı dikkat süreçlerine olan gereksinimin artışının, bununla birlikte uyaran güdümlü dikkat bastırılmasının aktivasyon/deaktivasyon farklılıklarına yansıdığı düşünülebilir.

Ödev zorluğu ile ilişkili olarak, seyrek karşılaşılan sözcükler koşulunda sık karşılaşılan sözcüklere göre sol OFC'de (BA 47) aktivasyon artışı yönündeki bulgumuz, bu alanın, ödevin semantik bileşeni ile ilintili olabilmesinin yanı sıra çalışma belleği yükündeki artışı belirtebilir. Ventral dil yollarının rol oynadığı BA 45 ve 47'nin, çeşitli semantik işleme süreçlerinde aktivasyon gösterdiği bilinmektedir (Friederici ve Gierhan 2013; Friederici 2017). Özellikle sözcük seviyesinde semantik kategorizasyon veya semantik kontrol süreçlerinde rol oynamakta (Mueller ve ark.

2012; Friederici 2018) ve leksikal-semantik erişim ile cümle anlama seviyesinde semantik süreçlere katılmaktadır (Friederici ve Gierhan 2013). Bunun yanında, bir diğer bulgumuza göre, sol to-FuG'un aktivasyonunun (BA 37) semantik ve sözdizimsel ödevlerde gözlenmesinin yanı sıra, bu aktivasyon semantik çalışma belleği ödevinde seyrek sözcükler koşulunda sık sözcüklere kıyasla daha yüksekti. Sol MTG ve komşu alanlar, sıklıkla sözel çalışma belleği görevlerinde, leksikal semantik süreçlerle ilgilidir (Turken ve Dronkers 2011; Friederici ve Gierhan 2013). Örneğin, sol fusiform girus lezyonları okuma ve heceleme bozukluklukları ile ilişkili olarak bulunmuştur (Tsapkini ve Rapp. 2010). Bunun yanında, sağlıklı katılımcılarda sol fusiform girus aktivasyonun, ödev zorluğuna ilişkin kognitif yük ile pozitif korelasyon gösterdiği, yakın zamanda gerçekleştirilen bir meta analiz çalışmasında vurgulanmıştır (Emch ve ark. 2019). Bu doğrultuda, BA 37'de gözlediğimiz aktivasyon artışı, semantik çalışma belleğinde koşul zorluğuna bağlı gerçekleşmiş olarak öne çıkmaktadır.

5.2. Sözel çalışma belleğinde sözdizimsel işleme

5.2.1. Sözdizimsel işleme sürecinde aktivasyon ve deaktivasyon

Sözdizimsel işleme ödevinde, sol hemisfer baskınlığı vurgulanan konvansiyonel dil işleme alanlarıyla uyumlu olarak, sol IFG (BA 44) ve presantral girusta (BA4) aktivasyon gözlemlendi. Bunun yanında, orta hat yapıları öne çıkmakta olup, özellikle çalışma belleğine katılan SMA (BA 6) ve PCG yer almaktadır. Ayrıca, sol aINS, posteriyor MTG ve STG, sol IPL (BA 40), SPL, oksipital kutup, bilateral IFG (BA 18, BA 19) ile to-FuG (BA 37) aktivasyon gösteren alanlar arasındadır. Ek olarak, sağ CB lobul VI ve Krus I/II ile sol talamus ventral anterior ve medyal dorsal nukleusta aktivasyon gözlemlendi. SMA, sol IFG ve aINS ile oksipital alanlar özellikle sözel çalışma belleğine katılan ve semantik çalışma belleği ödevinde de aktivasyon artışı gözlediğimiz yapılardır. Semantik çalışma belleği ödevinden farklı olarak, IFG aktivasyonu sol hemisfer ile sınırlı olup, sol BA 40 ve SPL ile temporal girus alanları ile talamik çekirdekler ve CB aktivasyonu öne çıkmaktadır. Bulgularımızda gözlenen yapılar, sözdizimsel bilginin, sol IFG ve posteriyor MTG olmak üzere, sol fronto-temporal ağ katılımını etkinleştirdiği görüşüne uygundur (Tyler ve ark. 2011; Wright ve ark. 2012; Rogalsky ve ark. 2015). Bunun yanında, fonksiyonel nörogörüntüleme çalışmaları, dil ile ilgili motor, artikülatuar işlevlerin sol IFG, SMA, premotor alanlar ve insular korteks ile ilişkili olabileceğini öne sürmektedir. Sol SMG, özellikle fonolojik

süreçler ile ilişkilendirilmiş olup, fonolojik döngüye ilişkin rol oynadığı düşünülmektedir (Buchsbaum ve D’Esposito 2008; Yue ve ark. 2019; Buchsbaum ve D’Esposito 2019). Örneğin; bir lezyon – semptom haritalaması çalışmasında, fonolojik çalışma belleği kusuru gösteren hastaların işitsel olarak uygulanan fonolojik ve semantik ödev performanslarına ilişkin, sol, IPL, özellikle SMG’nin önemli etkisi gözlenmiştir (Martin ve ark. 2021b). Çalışmamızda, sol SMG aktivasyonu, semantik çalışma belleği ödevinde ortaya çıkmamış olup, yalnızca sözdizimsel işleme sırasında gözlenmiştir. Bu çerçevede, sol SMG’nin dil ve sözdizimsel işleme süreçlerinin baskın olduğu durumlarda rol oynayarak aktivasyonunun belirginleştiği düşünülebilir.

Sözdizimsel işleme sırasında gözlediğimiz serebellar ve talamik aktivasyonlar, özellikle dil işleme süreçlerine katılan yapılardır. Sağ CB Krus I/II’ye yayılan aktivasyonlar, serebellumun motor olmayan dil işleme süreçlerine katılımını vurgulamaktadır (Mariën ve Manto 2018). Klinik ve fonksiyonel nörogörüntüleme çalışmaları sağ posteriyor serebellumun motor olmayan dil işlevlerine katıldığı görüşünü ortaya koymuştur. Bu alanlar özellikle lobul VI, Crus I/II ve lobul VII’nin orta hattını kapsamaktadır. Dil işlemede baskın sol kortikal alanlar ile çapraz, resiprokal serebello-serebral döngülere katılmaktadır (Stoodley ve Schmahmann 2010). Ayrıca, gözlediğimiz talamik aktivasyonlar, dil işlemeye katılan dorsolateral PFC ile ipsilateral bağlantı gösteren sol medio-dorsal nukleus (MDN) ve ventral-anteriyor çekirdeklerindedir (Barbas ve ark. 2013). Talamik çekirdeklerden dolayı oluşan afazi olgularında, çoğunlukla dilin sol hemisfer lateralizasyonu ve talamus ile korteks arasındaki baskın ipsilateral bağlantılara uygun olarak, sol tarafta hasar gözlenmektedir (Schmahmann 2003; Barbas ve ark. 2013). Motor fonksiyonlarla ilgili talamik çekirdekler olan ventral lateral ve anteriyor ile MDN, dilin motor ve kognitif yönleriyle ilgili devrelerde yer alırken, bazal gangliyon ve serebellumun çıktılarını frontal kortekse iletir (Radanovic ve Scaff 2003; Carrera ve Bogousslavsky 2006; Barbas ve ark. 2013). Örneğin, iç konuşma ve akıcı konuşma için uygun kelimelerin geri çağırılması sırasında, sağ serebellar bölgelerin yanı sıra çalışma belleği ile ilişkili sol dorsolateral PFC alanlarında aktivasyon oluşmaktadır (Canales ve ark. 2002; Strick ve ark. 2009; Marvel ve Desmond 2010; Murdoch 2010). Çalışmamızda, serebellar ve talamik yapıların sol IFG alanları ile birlikte aktivasyon göstermesi, sözdizimsel ve dil işleminin kognitif bileşenleri çerçevesinde bu alanların önemini vurguluyor olabilir. Özetle, sözdizimsel

işlemelemede genel aktivasyon örüntüsü, dil devresine ilişkin kortikal, subkortikal ve serebellar katılım sergilemektedir.

Sözdizimsel işlemelemede deaktivasyon oluşan alanlar, yaygınlığı semantik çalışma belleği ödevinden daha düşük olmak üzere genellikle DMN ve SAL/VENT alanlarında yer aldı. Deaktivasyon gözlediğimiz bu alanları çalışma belleği ve artan kognitif yük ile ilişkilendirmek mümkün olabilir. Örneğin; PCu, posteriyor insular, MTG, ACC ve limbik alanlarda deaktivasyon özellikle çalışma belleği görevlerinde daha belirgin olarak bulunmuştur (Tomasi ve ark. 2006). Harrison ve ark. (2011) görsel olarak sunulmuş ödevlerin uygulanışı sırasında deaktivasyon gösteren alanları inceledikleri çalışmalarında, ödev gerekliliklerine ilişkin kognitif yük artışının, DMN deaktivasyonunun yayıldığı anatomik bölgeleri belirleyici etkisini göstermiş, DMN dışı alanlardan özellikle posteriyor insula ve komşu kortikal alanların katıldığını ifade etmişlerdir. De Voogd ve Hermans (2020) çalışma belleği ödevleri ve kognitif yük oluşturan koşullara yönelik bir meta analizde amigdala aktivitesinin bastırılmasının kognitif yük ile ilgili olduğunu bildirmişlerdir. Bu çerçevede, çalışmamızda sözel çalışma belleğinde semantik ve sözdizimsel süreçler sırasında gözlediğimiz deaktivasyonların DMN ve posteriyor alanlar ile SAL/VENT alanlarına yayılımı, literatürde kognitif yük gerektiren, özellikle çalışma belleği yapılarının aktif rol oynadığı süreçlerde gözlenen deaktivasyonların anatomik örüntüleri ile uyumluluk göstermektedir.

5.2.2. Sözel çalışma belleğinde sözdizimsel süreç türü etkisi

Çalışmamızda, sözdizimsel işlemelemede bağlama ve taşıma koşulları arasındaki aktivasyon kontrastlarını incelediğimizde, sol IFG'deki (BA 44) aktivasyon bağlama koşulunda taşımaya göre daha yüksekti. Buna karşın, herhangi bir alanda taşımaya kıyasla anlamlı düzeyde artan aktivasyon gözlenmedi. Bunun yanında, sol IFG, sözdizimsel ve semantik süreçlerin genel etkilerini değerlendirdiğimizde de aktivasyon gözlenen alanlar arasında yer aldı. Bu doğrultuda, sol IFG'nin, çalışmamızda sözel çalışma belleğine ilişkin semantik ve sözdizimsel koşulların ikisine de katılım gösterdiği görülmektedir. Bu nedenle, bulgularımız, literatürde Broca alanının sözdizimsel işlemelemeye katılımına ilişkin genelleseyici yaklaşımı destekliyor olabilir. Genelleseyici yaklaşım, BA 44/45 alanlarının genel bir sözel çalışma belleği çerçevesinde sözdizimsel işlemelemeyi desteklediğini vurgulamaktadır (Santi ve Grodzinsky 2007).

Diğer yandan, özgülcü yaklaşım, bu alanların sözdizimsel işlemlere yönelik katılımının, genel çalışma belleği işlevlerinden ayrıştığını öne sürmektedir (Santi ve Grodzinsky 2007). Her ne kadar BA 44/45 yapılarının taşıma işlemi ile ilgili olduğuna yönelik, çoğunlukla batı dillerindeki çalışmalardan edinilen çıkarımlar olsa da, sözdizimsel işlemlerin, özellikle taşımanın, STG ve posteriyor pariyetal alanlar ile ilgili olduğunu destekleyen bulgular sıklıkla gözlenmiştir (Ben-Shachar ve ark. 2003; Newman ve ark. 2010). Öte yandan, aynı nöral mekanizmaların farklı sözdizimsel işlemlerde yer alabileceğine ilişkin bulgular da sunulmuştur (Makuuchi ve ark. 2013). Bu çalışmada, sol IFG’de gözlediğimiz aktivasyon artışı, sözel çalışma belleği çerçevesinde, bağlamada taşıma işlemine göre daha fazla çalışma belleği yükü olduğuna işaret edebilir. Bu aktivasyon artışına paralel olarak, çalışmamızda bağlama ve taşıma arasında deaktivasyon yönünden farklılıklar gözlenmektedir. SAL/VENT ağına dahil edilebilecek sağ posteriyor SMG, TPJ ile DMN kapsamında sağ STG’de yer alan kümelerdeki deaktivasyon, sözel çalışma belleği yükünün artması ile bağlama koşulunda artış göstermiş olabilir. Davranışsal bulgularımız, bu çıkarımı destekleyen biçimde, bağlama koşulunun taşımaya göre daha zor olabileceğine işaret etmektedir. Bulgularımızda, sol IFG’deki aktivasyon artışına paralel olarak gözlenen DMN ve SAL/VENT alanlarındaki deaktivasyon değişimi, semantik çalışma belleği ödevindeki bulgularımızda semantik zorluğa bağlı olarak gelişen örüntüye benzer çerçevede değerlendirildiğinde, sözdizimsel işleme sürecinde bağlama ve taşıma arasındaki zorluk farklılığından kaynaklanıyor olabilir. Sol IFG’nin semantik çalışma belleği sürecine de katılması ve ödev zorluğu ile aktivasyon artışı göstermesi, bu alanın genel olarak sözel çalışma belleği süreçlerinde önemli olabileceğini, bununla birlikte, sözel çalışma belleği bağlamında zorluk seviyesi ile ilintili olarak sürece katılımını arttırabileceğini belirtiyor olabilir.

5.3. Sözel çalışma belleğinde semantik ve sözdizimsel süreçlerin aktivasyon ve ağ temelli istatistik karşılaştırmaları

Semantik ve sözdizimsel süreçler karşılaştırıldığında, sağ frontal, pariyetal ve to-FuG alanlarında semantik koşulda artan aktivasyon gözlendi. Bu bölgeler, IFG (BA44), SPL ile orta hat yapıları olan SFG, SMA ve PCG’den oluşmaktadır. N-geri ve çeşitli sözel çalışma belleği uygulanan çalışmalarda sağ IFG aktivasyonu gözlenmiş olup, bu aktivasyonun ödev zorluğu ile ilişkisi öne sürülmüştür (Barbey ve ark. 2013). Ayrıca, sağ IFG alanlarındaki aktivasyon artışı, semantik görevlerde bildirilen sağ frontal

alanların rolünü vurgulamaktadır (Wright ve ark. 2012). Medyal SFG ile PCG’de gözlediğimiz aktivasyon artışı, yine sözel çalışma belleğinde sıklıkla bildirilen bulgulardandır (Emch ve ark. 2019). Bu tez çalışmasında, sözdizimsel süreçlerin işlenmesine bağlı, tümcelerin okunması ile gerçekleşen ödevde, sözdizim yapılarının çözümlenmesine yönelik bir sözel çalışma belleği süreci söz konusudur. Semantik çalışma belleği ödevinde ise sıralı olarak verilen sözcüklerin semantik kategorilerinin belirlenip aktif biçimde tutulmasından dolayı semantik kategorilere yönelik yüksek bir sözel çalışma belleği yükü olduğu söylenebilir. Sağ IFG’deki aktivasyon artışının kognitif zorluk ile ilintili olabileceği göz önünde bulundurulduğunda, semantik çalışma belleği ödevindeki sözel çalışma belleği sürecinin sözdizimsel işleme sırasında etkinleşen sözel çalışma belleği sürecinden farklı olduğu; bu bağlamda daha yüksek kognitif yük getirdiği düşünülebilir. Sağ frontal alanlar ile medyal alanlara ek olarak SPL’de gözlediğimiz aktivasyon artışı, DAN’ın majör alanlarını kapsamaktadır. Sözel kısa süreli bellek yükü arttığında DAN aktivasyonunun artabileceği (Majerus ve ark. 2012; 2017) çerçevesinde iki ödev arasındaki farklılıklar göz önüne alındığında, semantik çalışma belleği ödevinde sözdizimsel işleme ödevine kıyasla, yukarıdan-aşağı dikkat sürecine yönelik yük artmış olabilir. Diğer yandan, bulgumuz, literatürde posteriyor pariyetal alanların sözel çalışma belleğine ilişkin süreçlere katılabileceğine ilişkin bazı çıkarımları destekliyor olabilir. Örneğin, çalışma belleği ödevlerindeki aktivasyonları değerlendiren bir meta analiz çalışmasında, pariyetal alanların sözel ve sözel olmayan ödevler arasındaki katılımına yönelik bir farklılık gözlenmezken, IPS/SPL iki ödev tipinde de tutarlı aktivasyonlar göstermiştir (Rottschy ve ark. 2012). IPS/SPL yaygın olarak görsel-mekansal işlevler ile ilişkilendirilmiş (Vossel ve ark. 2014) olsa da farklı modalitelerde gerçekleşen çalışma belleği ödevlerine katılıyor olabilir. Örneğin, çalışma belleğine ilişkin, ödev modalitesine göre farklı frontal alanlar; örneğin, sözel bilgi için BA 44 ve sözel olmayan bilgi için PMC ile etkileşim gösteriyor olabilir (Rottschy ve ark. 2012). Buna ek olarak, literatürde, afazi hastalarının N-geri ödev performansları ile lezyon çalışmalarından elde edilen çıkarımlara göre, IPS/SPL alanlarının görsel-mekansal bilginin yanında, işitsel-sözel alanlarda da rolü olabileceğine ve sözel akıcılık ödevlerine katıldığına ilişkin gözlemler vardır (Ravizza ve ark. 2004; Ischebeck ve ark. 2008; Koenigs ve ark. 2009). Bu çerçevede, bulgularımız, semantik ve sözdizimsel işleme süreçlerinde hemisfer farklılıklarını vurgulamasının yanı sıra, ödevler

arasında çalışma belleği bağlamındaki zorluk etkisini ve sağ posteriyor pariyetal alanların, konvansiyonel olarak görsel-mekansal ödevlere katılımının yanında, sözel çalışma belleğine ilişkin deney koşullarında gözlenebileceğini belirtmektedir.

Semantik çalışma belleği ödevinde sözdizime göre sağ hemisferde artan aktivasyona ek olarak sol anterior MTG’de yer alan bir kümede belirgin deaktivasyon görülürken, sözdizimsel işleme koşulunda bu etki yer almamaktadır. Ancak, NBS bulguları ile birlikte değerlendirildiğinde, bu alan ile örtüşme gösteren DMN sol temporal girus parseli, semantik koşulda sözdizime göre artan bağlantısallık sergilemiştir. Dahası, sol ve sağ DMN alanlarının çalışma belleğine ilişkin CONT ve DAN ile intra ve interhemisferik bağlantıları semantik koşulda sözdizime göre artmıştır. Bu bulguları değerlendirirken, semantik sistem yapısında diğer ağ düğümleriyle örtüşen alanlar olabileceği gibi, DMN’nin kognitif süreçlere bağlantısallık artışı ile katılımı göz önüne alınmalıdır. Semantik sistem, geniş ölçekli ağlar (FPN, DMN gibi) ile etkileşim içinde olup, ortak alanlar paylaşmaktadır (Xu ve ark. 2016). Diğer kognitif fonksiyonlar gibi, semantik fonksiyon da kendi özelleşmiş sisteminin yanında diğer ağlar ile etkileşimler desteğiyle gerçekleşmektedir. DMN’nin semantik işlemlemeye katılması (Humphreys ve ark. 2015) pek çok çalışma tarafından bildirilmiş, cümle anlama gibi semantik temsillerle ilgili ödevlerde dil ağı ile fonksiyonel olarak eşleşme gösterdiği gözlenmiştir (Binder ve ark. 2009; Xiong ve Newman 2021). Anterior temporal alanlar, özellikle semantik kodlama ve farklı modalitedeki bilgilerin entegrasyonunda önemli bir merkez olarak tanımlanmıştır (Lambon Ralph ve ark. 2017). Bu bağlamda, sözel çalışma belleği süreçlerinin semantik bilgi ve dil anlama temelinde, uzun süreli bellek ile etkileşimine değinmek faydalı olabilir (Schwering ve MacDonald 2020). Çalışma belleği ve uzun süreli bellek mekanizmaları arasındaki örtüşme ile ilgili nörogörüntüleme çalışmaları frontal ile medyal temporal alanlar arasındaki dinamik bir etkileşime işaret etmektedir (Ranganath ve Blumenfeld 2005; Reuter-Lorenz ve Iordan 2021). DMN’ye dahil edilen majör alanlar olarak da ele alınabilecek bu yapılar, özellikle DMN’nin bellek sürecine katılımına işaret edebilir. Dahası, DMN’nin deaktivasyonu gerçekleşse bile ödev pozitif ağlar ile görev gerekliliklerine göre artan bağlantısallık gösterdiği çeşitli kognitif işlevlere yönelik çalışmalar tarafından bildirilmiştir (Vatansever ve ark. 2017). Gordon ve ark. (2020) yakın zamanda gerçekleştirdikleri çalışmada, FPN ve dil ağlarının DMN ile fonksiyonel

bağlantısallığını gözlemleyerek, DMN'nin diğer ağlardan izole olarak yapılanması yerine, bu ağlardan girdiler ile regule olabileceğini belirtmişlerdir.

DMN aktivitesi özellikle dışa yönelik dikkat sürdürülmesi sırasında azalsa da DMN'nin çalışma belleği ve uzun süreli bellekte yapılandırılmış içsel temsilleri aktif olarak tutmaya yönelik bir katılımı söz konusudur (Chiou ve ark. 2020). Bunun yanında, Krieger-Redwood ve ark. (2016), semantik kognisyon sırasında deaktivasyon göstermesine karşın, DMN'nin majör bir bileşeni olan PCC'nin dorsolateral PFC ile artan bağlantısallık gösterdiğini gözlemişlerdir. PCC, dışa yönelik dikkat koşulunda her ne kadar genel aktivasyonunu azaltsa da hedefe yönelik biçimde bilginin bellekten geri çağırılması sırasında yürütücü kontrol alanları ile korelasyonunu arttırmaktadır (Leech ve ark. 2011; Krieger-Redwood ve ark. 2016). Çalışma belleği, işitsel oddball, otobiyografik planlama ve motor öğrenme gibi çeşitli ödevlerde DMN'nin rolüne dair bulgular yaygınlaşmaktadır (Buckner ve ark. 2008; Newton ve ark. 2011; Arbabshirani ve ark. 2013; Spreng ve ark. 2013; Vatansever ve ark. 2015a; 2015b; Kurt 2018; Eryurek ve ark. 2022). Örneğin, Vatansever ve ark. (2017), N – geri ödevi gerçekleştirilmesi sırasında, DMN'nin lateral pariyetal düğümlerinde yer alan AG'nin, geniş ölçekli ağlar ile etkileşim içinde olduğunu ve çalışma belleği yükü ile ilintili olarak global bağlantısallığının değiştiğini göstermişlerdir. Özellikle bellek sistemleri ile ilgili ödevlerde DMN alanlarında dinlenim ya da ödev zorluğundaki değişimlere yönelik bir katılım gözlemlendiği söylenebilir. Bulgularımız, DMN'ye ilişkin bu çıkarımları, sözel çalışma belleği koşulunda desteklemektedir.

Fonksiyonel bağlantısallık örüntüleri değerlendirildiğinde, aktivasyon örüntüsünde vurgulanan bilateral IFG gözlemi ile uyumlu olarak, semantik çalışma belleği koşulunda sözdizimsel sürece göre, sağ DAN'ın bilateral olarak DMN ve CONT düğümleri ile artan bağlantısallık gösterdiği öne çıkmaktadır. Sağ hemisferde DAN posteriyor pariyetal ve PFC düğümleri ile CONT PFC ile medyal singulat korteks düğümleri, semantik süreçte sözdizimsel işlemelemeye göre aktivasyon artışı gözlenen bölgeler ile yakınlık içermektedir. Sağ PFC'de yer alan düğümlerin bağlantıları, semantik çalışma belleğinde sağ frontal yapıların rolü ile ilintili olabilecek aktivasyon artışına yönelik bulgumuzu fonksiyonel bağlantısallık yönünden de desteklemektedir. Öte yandan, semantik koşulda sözdizime göre sağ to-FuG alanında aktivasyon artışı gözlenmesine karşın, bu alana yakın sağ VIS düğümü sözdizimsel koşulda sol DAN

posteriyor pariyetal kortekste yer alan düğüm ile artan bağlantısallık göstermiştir. Genel aktivasyonlar değerlendirildiğinde de sözdizimsel süreçlerde to-FuG bilateral olarak aktivasyon göstermiştir. Bu bulgumuz, sözdizimsel işlemlerde posteriyor temporal alanların önemini (Lukic ve ark. 2021) desteklemekte olup, bu alanların genel olarak bilateral katılım gösterebileceğini belirtmektedir. Bu çıkarıma uygun olarak, sözdizimsel süreçte semantik koşula göre artış görülen bağlantılarda DAN ve DMN'nin kendi ağ içi düğümleri arasında interhemisferik bağlantıları öne çıkmaktadır. Sözdizimsel işlemlerde semantik sürece göre artan bağlantısallık sergileyen diğer düğümlerin anatomik karşılıkları incelendiğinde ise özellikle sol pariyetal alanlar belirgindir. Fonksiyonel nörogörüntüleme ve lezyon-septom haritalama çalışmaları, cümle işleme işlevlerine ilişkin, sol fronto-temporo-pariyetal alanlara yayılan bir ağ yapısının rolünü öne çıkarmaktadır (Dronkers ve ark. 2004; Fridriksson ve ark. 2018; Lukic ve ark. 2021). Bu alanlar arasında özellikle IFG'nin yanında, anterior ve posteriyor STG, MTG ve IPL'de yer alan lezyonlar genel olarak cümle anlama performansında bozucu etkiye neden olabilmektedir (Fridriksson ve ark. 2018). Cümlelerin sözdizimsel olarak karmaşıklık etkisi ise yine posteriyor temporal ve pariyetal alanlarının rolü ile ilgili gözükmemektedir (Lukic ve ark. 2021). Bulgularımız arasında, sözdizimsel işleme sürecinde artış gösteren tek intrahemisferik bağlantı sol pariyetal operkulum ve frontal kutup arasında gözlenmiştir. Aktivasyon örüntüsünde de gözlediğimiz sol IPL, özellikle SMG'nin literatürde yaygın olarak kabul edilen fonolojik işlevlere desteği ön planda olup (Yue ve ark. 2019), bu bağlamda semantik çalışma belleği süreçlerinden ayrımı özellikle belirtilmiştir (Martin ve ark. 2021b). Bu çalışmada edindiğimiz bulgular, sol IPL alanları için benzer bir ayrımı, çalışma belleğinde sözdizimsel ve semantik süreçler arasında ortaya koymaktadır. Sol IPL'de sözdizimsel işleme koşulunda genel bir aktivasyon izlenmesi ile semantik koşula kıyasla bu alanda yer alan düğümlerin artan bağlantısallık göstermesi, sol IPL'nin belirgin biçimde sözdizimsel süreçlerde daha fazla rolü olduğuna işaret ediyor olabilir.

5.4. Çıkarımlar ve kısıtlılıklar

Bulgularımız, sözel çalışma belleğinde semantik ve sözdizimsel işleme süreçlerinde aktivasyon ve fonksiyonel bağlantısallık farklılıkları ortaya koymaktadır. Semantik ve sözdizimsel işleme koşullarındaki genel aktivasyonlar değerlendirildiğinde, semantik bileşeni olan bir sözel çalışma belleği sürecinde bilateral

IFG alanlarının katılımı öne çıkmaktadır. Bulgularımız, bu doğrultuda, bilateral frontal alanların sözel çalışma belleği ve semantik kognisyon süreçlerine katılımına ilişkin yakın dönemde kognitif nörobilim literatüründe yaygınlaşmaya başlayan çıkarımları desteklemektedir. Buna karşın, sözel çalışma belleğinde sözdizimsel işleme sürecinde, beyinde dil işleme ile ilişkili devrelerin yanında sözdizimsel işleme süreçlerinde konvansiyonel olarak gözlenen, sol IFG'nin dahil olduğu fronto-temporal sistem ile sol IPL alanlarıyla uyumlu aktivasyonlar elde edilmiştir. Sol IFG (BA 44), her iki ödevde de rol oynamasının yanı sıra, sözdizimsel işleme ödevinde bağlama yapısında taşımaya kıyasla daha yüksek aktivasyon göstermiştir. Böylelikle, sözel çalışma belleği ödevi çerçevesinde, bağlama sözdizimsel yapısının tutulmasının daha fazla yüke yol açtığı düşünülebilir.

Semantik çalışma belleği ödevinde, sözel çalışma belleğine ilişkin literatür ile uyumlu olan aktivasyonlar özellikle bilateral IFG ile PCG çevresindeki alanları kapsamaktadır. Aynı alanlardaki aktivasyonun, seyrek karşılaşılan sözcüklerde sık sözcüklere göre daha yüksek olmasının yanı sıra, davranışsal bulgularımıza göre seyrek sözcük koşulu daha zor olarak gözükmektedir. Bu bağlamda, sözcük sıklığı, sözel çalışma belleğinde semantik kategorilere ilişkin zorluğu belirlerken, çalışma belleğinde daha fazla yüke neden olmuş olabilir. Semantik çalışma belleğine yönelik kısıtlı sayıdaki nörogörüntüleme çalışmasının deney düzeneklerinde, genellikle semantik ile fonolojik koşullar karşılaştırılmıştır. Buna karşın, bu tez çalışmasında, semantik bileşeni olan sözel çalışma belleği sürecinde genel bir aktivasyon örüntüsünün ortaya çıkarılmasının yanı sıra, semantik kategorilerin çalışma belleğinde tutulmasında sözcük sıklığı etkisi incelenmiştir. Bu yönüyle, çalışmamız, sözel çalışma belleğinde semantik süreçlerin etkisine yönelik nöral karşılıklara ilişkin, farklı zorluktaki semantik koşulları ele alarak kapsamlı bulguların elde edilmesini sağlamıştır.

Her iki ödevde oluşan deaktivasyonlar değerlendirildiğinde, DMN'ye ek olarak özellikle SAL/VENT alanları göze çarpmaktadır. Buna paralel olarak aktivasyon artışı gözlediğimiz yapılar ise özellikle CONT ve DAN alanlarına karşılık gelmektedir. Böylelikle, bulgularımız, DAN aktivasyonu ve SAL/VENT deaktivasyonu eş zamanlılığının, görsel-mekansal modalitede dikkat ve çalışma belleği süreçleri ile sınırlı kalmayıp, görsel sunum içeren sözel çalışma belleği koşulunda gözlemlenebileceğini desteklemektedir (Majerus ve ark. 2012; 2017).

Semantik ve sözdizimsel süreçlerdeki fonksiyonel bağlantısallık değişimlerini ağ temelli yaklaşım ile, geniş ölçekli entrensek bağlantısallık ağlarının düğümleri arasında kıyasladığımızda, yürütücü kontrol, dikkat ağları ve DMN arasındaki bağlantılarda farklılıklar öne çıkmaktadır. DMN, deaktivasyon gözlediğimiz bir ağ olmasına karşın, kendi düğümleri arasında, ayrıca CONT, DAN ve VIS gibi ağlar ile çoklu bağlantılar sergilemiştir. Ağların kendi düğümleri içinde hemisferler arasında gösterdikleri bağlantılara bakıldığında, DMN ve DAN ağlarının ikisinde de interhemisferik bağlantıları sözdizimsel koşulda semantik koşula kıyasla artmıştır. Bu bulgumuz, sözdizimsel süreçlerde, aktivasyonlar değerlendirildiğinde saptanamayan sağ hemisfer katılımının, fonksiyonel bağlantısallık değişimlerine yansıdığına işaret edebilir. Sol hemisferde posteriyor parietal korteks ve operkulum alanlarındaki ağ düğümlerinin sergilediği yüksek bağlantısallık, sözdizimsel süreçlerde sol posteriyor parietal alanların rolünü desteklemektedir. Semantik çalışma belleği koşulunda ise, aktivasyon bulgularımız ile uyumlu olarak, sağ hemisferdeki DAN ve CONT düğümlerinin bağlantıları belirginleşmiştir. Özetle, sözel çalışma belleğinde, çoklu ağların düğümleri semantik ve sözdizimsel süreçlerin katılımına göre artan ve azalan bağlantısallıklar göstermektedir. Sonuç olarak, aktivasyon ve deaktivasyon değişimleri ile birlikte fonksiyonel bağlantısallığın değerlendirilmesi, çeşitli ödev koşullarında çalışma belleğinin hangi sistemler ile etkileşim gösterdiğini incelemeye faydalı olabilir.

Çalışmamızda değinilmesi gereken kısıtlılıklar ile bulgularımızın değerlendirilmesine ilişkin göz önüne alınması faydalı olabilecek bazı noktalar bulunmaktadır. Bunlardan ilki, bulguların etkisine yönelik önem taşıyan örneklem büyüklüğüdür. Çalışmaya 32 gönüllünün dahil edilmesine karşın, bazı katılımcıların verilerinin kullanılamamasından dolayı, her iki ödevde ait verileri kullanabilen 25 kişi ile istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir. Ancak, deneylerin faktöriyel tasarımı, fMRG oturum uzunluğu, istatistiksel analizlerin grup içi gerçekleştirilmesi ve çoklu karşılaştırmalar için düzeltmeler kullanılması, bulgularımızın güvenilirliğini desteklemektedir. Ayrıca, tüm aktivasyon ve fonksiyonel bağlantısallık analizlerinde katılımcıların “okuma aralığı” puanları kovaryant olarak eklenerek, katılımcılar arasındaki sözel çalışma belleği performansı farklılığından kaynaklı olası etkiler kontrol edilmeye çalışılmıştır. İleride yapılabilecek çalışmalarda, daha geniş bir örneklemde, yüksek ve düşük sözel çalışma belleği performansı olan katılımcılar arasında aktivasyon ve fonksiyonel bağlantısallık değişimleri araştırılabilir. Değinilebilecek bir diğer nokta,

sözdizim ve semantik çalışma belleği ödevlerinin her ikisinde de sözcükler arasındaki uzaklık etkisine yönelik aktivasyon artışına istatistiksel olarak anlamlı yansıyan bir etki elde edilememiş olmasıdır. Bu çalışmada iki seviyeli uzaklık faktörü belirlenmiş olsa da benzer tasarım ile gerçekleştirilmiş bazı nörogörüntüleme çalışmalarında üç seviyeli uzaklık faktörü uygulayanlar bulunmaktadır (örneğin; Makuuchi ve ark. 2013). İleride yapılabilecek çalışmalarda, uzaklık faktörünün seviyesinin artırılması, çalışma belleği yükü bağlamındaki etkisini ortaya çıkarmaya yardımcı olabilir. Son olarak, çalışmamızda elde ettiğimiz bulgular, görsel olarak sunulan ödevler çerçevesinde sözel çalışma belleği süreçlerine dayanmaktadır. İşitsel modalitede benzer bir deney tasarımı ile gerçekleştirilecek sözel çalışma belleği çalışmaları, bulgularımızın modaliteye göre genellenebilir olan ve farklılık gösteren yönlerini ortaya çıkarmada faydalı olabilir.

KAYNAKLAR

Anticevic, A., Repovs, G., Shulman, G.L. ve Barch, D.M. (2010). When less is more: TPJ and default network deactivation during encoding predicts working memory performance. *NeuroImage*, **49(3)**, 2638–2648.

Arbabshirani, M. R., Havlicek, M., Kiehl, K. A., Pearlson, G. D. ve Calhoun, V. D. (2013). Functional network connectivity during rest and task conditions: A comparative study. *Human Brain Mapping*, **34(11)**, 2959–2971. <https://doi.org/10.1002/hbm.22118>

Atkinson, R. C. ve Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. İçinde K. W. Spence ve J. T. Spence (Ed.), *The psychology of Learning and Motivation*. Oxford, UK: Academic Press. 89-195.

Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science*, **255(5044)**, 556-559.

Baddeley, A. (2003). Working memory and language : an overview. *Journal of Communication Disorders*, **36 (2003)**, 189–208. [https://doi.org/10.1016/S0021-9924\(03\)00019-4](https://doi.org/10.1016/S0021-9924(03)00019-4)

Baddeley, A. (2010). Working memory. *Current Biology*, **20**, 136–140. doi: 10.1016/j.cub. 2009.12.014

Baddeley, A. D. ve Hitch, G. (1974). Working memory. *Psychology of Learning and Motivation*, **8**, 47–89.

Baddeley, A. D. ve Hitch, G. J. (2019). The phonological loop as a buffer store: An update. *Cortex*, **112**, 91–106. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2018.05.015>

Baddeley, A., Hitch, G. ve Allen, A. (2021). A Multicomponent Model of Working Memory. İçinde Logie, R.H., Camos, V. ve Cowan, N. (Ed.), *Working Memory State of Science*. Oxford University Press. 10-43. DOI: 10.1093/oso/9780198842286.003.0001

Barbas, H., García-Cabezas, M. Á. ve Zikopoulos, B. (2013). Frontal-thalamic circuits associated with language. *Brain and Language*, **126(1)**, 49–61. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2012.10.001>

Barbey, A. K., Koenigs, M. ve Grafman, J. (2013). Dorsolateral prefrontal contributions to human working memory. *Cortex*, **49**, 1195–1205. doi: 10.1016/j.cortex.2012.05.022

Beckmann, C.F., DeLuca, M., Devlin, J.T. ve Smith, S.M. (2005). Investigations into resting-state connectivity using independent component analysis. *Philos Trans R Soc B Biol Sci*, **360**, 1001–1013.

Behzadi, Y., Restom, K., Liau, J. ve Liu, T.T. (2007). A component based noise correction method (CompCor) for BOLD and perfusion based fMRI. *Neuroimage*, **37**, 90–101.

Ben-Shachar, M., Hendler, T., Kahn, I., Ben-Bashat, D. ve Grodzinsky, Y. (2003). The neural reality of syntactic transformations-evidence from fMRI. *Psychological Science*, **13**, 843–440.

Ben-Shachar, M., Palti, D. ve Grodzinsky, Y. (2004). Neural correlates of syntactic movement: converging evidence from two fMRI experiments. *NeuroImage*, **21**, 1320–1336.

Bijsterbosch, J., Smith, S. ve Beckmann, C. (2017). *Introduction to Resting State fMRI Functional Connectivity*. (Oxford Neuroimaging Primers). Oxford University Press.

Binder, J. R., Desai, R. H., Graves, W. W. ve Conant, L.L. (2009). Where is the semantic system? A critical review and meta-analysis of 120 functional neuroimaging studies. *Cerebral Cortex*, **19**(12), 2767–2796. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhp055>

Biswal, B., Zerrin Yetkin, F., Haughton, V.M. ve Hyde, J.S. (1995). Functional connectivity in the motor cortex of resting human brain using echo-planar MRI. *Magn Reson Med*, **34**, 537– 541.

Braga, R. M., DiNicola, L.M., Becker, H.C. ve Buckner, R.L. (2020). Neural functions and behavior situating the left-lateralized language network in the broader organization of multiple specialized large-scale distributed networks. *Journal of Neurophysiology*, **124**, 1415–1448. <https://doi.org/10.1152/jn.00753.2019>.

Brett, M., Anton, J. L., Valabregue, R. ve Poline, J. B. (2002). Region of interest analysis using an SPM toolbox. *In 8th international conference on functional mapping of the human brain*, **16**, 497.

Buchsbaum, B. R. ve D'Esposito, M. (2008). The search for the phonological store: From loop to convolution. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **20**(5), 762-778.

Buchsbaum, B. R. ve D'Esposito, M. (2019). A sensorimotor view of verbal working memory. *Cortex*, **112**, 134–148. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2018.11.010>

Buchsbaum, B. R., Baldo, J., Okada, K., Berman, K. F., Dronkers, N., D'Esposito, M. ve ark. (2011). Conduction aphasia, sensory- motor integration, and phonological short-term memory - an aggregate analysis of lesion and fMRI data. *Brain and Language*, **119**(3), 119- 128.

Buchsbaum, B. R., Hickok, G. ve Humphries, C. (2001). Role of left posterior superior temporal gyrus in phonological processing for speech perception and production. *Cognitive Science*, **25**(5), 663-678.

Buchsbaum, B.R., Olsen, R.K., Koch, P. ve Berman, K.F. (2005). Human dorsal and ventral auditory streams subserve rehearsal-based and echoic processes during verbal working memory. *Neuron*, **48**(4), 687-697.

Buckner, R. L., Andrews-Hanna, J. R. ve Schacter, D.L. (2008). The brain's default network - anatomy, function, and relevance to disease. *Year in Cognitive Neuroscience*, **1124**,1-38. <https://doi.org/10.1196/annals.1440.011>.

Buckner, R. L., Krienen, F. M. ve Yeo, B.T. (2013). Opportunities and limitations of intrinsic functional connectivity MRI. *Nature Neuroscience*, **16**(7), 832–837. <https://doi.org/10.1038/nn.3423>

Canales, J.J., Capper-Loup, C., Hu, D., Choe, E. S., Upadhyay, U. ve Graybiel, A.M. (2002). Shifts in striatal responsivity evoked by chronic stimulation of dopamine and glutamate systems. *Brain*, **125**, 2353–2363.

Caplan, D. ve Waters, G.S. (1999). Verbal working memory and sentence comprehension. *Behavioral and Brain Sciences*, **22**, 77–94.

Caplan, D., Hildebrandt, N. ve Makris, N. (1996) Location of lesions in stroke patients with deficits in syntactic processing in sentence comprehension. *Brain*, **119**, 933–949

Carrera, E. ve Bogousslavsky, J. (2006). The thalamus and behavior – Effects of anatomically distinct strokes. *Neurology*, **66**, 1817–1823.

Chappell, M., Okell, T. ve Jenkinson, M. (2017). *Short Introduction to MRI Physics for Neuroimaging*. Oxford Neuroimaging Primers. Oxford University Press.

Chiou, R., Humphreys, G. F. ve Lambon Ralph, M. A. (2020). Bipartite functional fractionation within the default network supports disparate forms of internally oriented cognition. *Cerebral Cortex*, **30(10)**, 5484–5501. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhaa130>

Chomsky, N. (1965). *Aspects of The Theory of Syntax*. Cambridge: THE M.I.T. Press.

Chomsky, N. (1993). *Lectures on Government and Binding*. Berlin; New York: Mouton de Gruyter.

Cole, M. W., Bassett, D. S., Power, J. D., Braver, T. S. ve Petersen, S. E. (2014). Intrinsic and task-evoked network architectures of the human brain. *Neuron*, **83(1)**, 238–251. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2014.05.014>

Cole, M. W., Reynolds, J. R., Power, J. D., Repovs, G., Anticevic, A. ve Braver, T. S. (2013). Multi-task connectivity reveals flexible hubs for adaptive task control. *Nature Neuroscience*, **16**, 1348–1355. <https://doi.org/10.1038/nn.3470>

Cole, M.W. ve Schneider, W. (2007) The cognitive control network: integrated cortical regions with dissociable functions. *Neuroimage*, **37**, 343–360.

Cooke, A., Zurif, E.B., DeVita, C., Alsop, D., Koenig, P., Detre, J. ve ark. (2001). Neural basis for sentence comprehension: grammatical and short-term memory components. *Human Brain Mapping*, **15**, 80–94.

Corbetta, M. ve Shulman, G.L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, **3**, 201–215.

Corbetta, M., Patel, G. ve Shulman, G. L. (2008). The reorienting system of the human brain: from environment to theory of mind. *Neuron*, **58(3)**, 306–324.

<https://doi.org/10.1016/j.neuron.2008.04.017>

Coste, C. P. ve Kleinschmidt, A. (2016). Cingulo-opercular network activity maintains alertness. *NeuroImage*, **128**, 264–272.

<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.01.026>

Cowan, N., Morey, C.C. ve Naveh-Benjamin, M. (2021). An embedded processes approach to working memory. İçinde Logie, R.H., Camos, V. ve Cowan, N. (Ed.), *Working Memory State of Science*. Oxford University Press. 44-84. DOI: 10.1093/oso/9780198842286.003.0003

Craik, F. I. M. ve Lockhart, R.S. (1972). Levels of processing: a framework for memory research. *J. Verbal Learn. Verbal Behav*, **11**, 671–684. doi: 10.1016/s0022-5371(72)80001-x

Crittenden, B. M., Mitchell, D. J. ve Duncan, J. (2016). Task encoding across the multiple demand cortex is consistent with a frontoparietal and cingulo-opercular dual networks distinction. *Journal of Neuroscience*, **36(23)**, 6147–6155. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4590-15.2016>

Curcic-Blake, B., Ford, J. M., Sommer, I. E., Waters, F., Allen, P., Jardri, R. ve ark. (2016). Interaction of language, auditory and memory brain networks in auditory verbal hallucinations. *Progress in Neurobiology*. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2016.11.002>

D’Esposito, M. (2007). From cognitive to neural models of working memory. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, **362(1481)**, 761–772. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2086>

D’Esposito, M. ve Postle, B. R. (2015). The cognitive neuroscience of working memory. *Annual Review of Psychology*, **66**, 115–142. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010814-015031>

Daneman, M. ve Merikle, P.M. (1996). Working memory and language comprehension: a meta-analysis. *Psychon. Bull. Rev.* **3 (4)**, 422–433

De Voogd, L.D. ve Hermans, E.J. (2020). Meta-analytic evidence for downregulation of the amygdala during working memory maintenance. *bioRxiv*, <https://doi.org/10.1101/2020.12.18.423445>

Di, X., Kim, E. H., Chen, P. ve Biswal, B. B. (2014). Lateralized resting-state functional connectivity in the task-positive and task-negative networks. *Brain Connectivity*, **4**(9), 641–648. <https://doi.org/10.1089/brain.2013.0215>

Dosenbach, N. U. F., Fair, D. A., Cohen, A. L., Schlaggar, B. L. ve Petersen, S. E. (2008). A dual-networks architecture of top-down control. *Trends in Cognitive Sciences*, **12**(3), 99–105. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.01.001>

Dosenbach, N. U. F., Fair, D. A., Miezin, F. M., Cohen, A. L., Wenger, K. K., Dosenbach, R. A. T. ve ark. (2007). Distinct brain networks for adaptive and stable task control in humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **104**(26), 11073–11078. <https://doi.org/10.1073/pnas.0704320104>

Dosenbach, N. U. F., Visscher, K. M., Palmer, E. D., Miezin, F. M., Wenger, K. K., Kang, H. C. ve ark. (2006). A core system for the implementation of task sets. *Neuron*, **50**(5), 799–812. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2006.04.031>

Dronkers, N.F., Wilkins, D.P., Van Valin, Jr, R.D., Redfern, B.B. ve Jaeger, J.J. (2004). Lesion analysis of the brain areas involved in language comprehension. *Cognition*, **92**, 145–177.

Emch, M., von Bastian, C.C. ve Koch, K. (2019). Neural correlates of verbal working memory: An fMRI meta-analysis. *Frontiers in Human Neuroscience*, **13**, 1–17. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00180>

Eryurek, K., Ulasoglu-Yildiz, C., Matur, Z., Öge, A. E., Gürvit, H. ve Demiralp, T. (2022). Default mode and dorsal attention network involvement in visually guided motor sequence learning. *Cortex*, **146**, 89–105. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2021.10.006>

Fedorenko, E., Behr, M. K. ve Kanwisher, N. (2011). Functional specificity for high-level linguistic processing in the human brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **108**, 16428–16433.

Fiebach, C. J., Schlesewsky, M., Lohmann, G., Von Cramon, D. Y. ve Friederici, A.D. (2005). Revisiting the role of Broca's area in sentence processing: Syntactic integration versus syntactic working memory. *Human Brain Mapping*, **24**(2), 79–91. <https://doi.org/10.1002/hbm.20070>

Fox, M. D., Snyder, A. Z., Vincent, J. L., Corbetta, M., Van Essen, D. C. ve Raichle, M. E. (2005). The human brain is intrinsically organized into dynamic, anticorrelated functional networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **102**(27), 9673–9678. <https://doi.org/10.1073/pnas.0504136102>

Fridriksson, J., den Ouden, D.B., Hillis, A.E., Hickok, G., Rorden, C., Basilakos, A., ve ark. (2018). Anatomy of aphasia revisited. *Brain*, **141**, 848–862.

Friederici, A. D. (2017). Evolution of the neural language network. *Psychonomic Bulletin and Review*, **24**(1), 41–47. <https://doi.org/10.3758/s13423-016-1090-x>

Friederici, A. D. (2018). The neural basis for human syntax : Broca's area and beyond. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, **21**, 88–92. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2018.03.004>

Friederici, A. D. ve Gierhan, S. M. E. (2013). The language network. *Current Opinion in Neurobiology*, **23**(2), 250–254. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2012.10.002>

Friederici, A.D., Bahlmann, J., Heim, S., Schubotz, R.I. ve Anwender, A. (2006). The brain differentiates human and non-human grammars: functional localization and structural connectivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **103**, 2458-2463.

Friederici, A.D., Rüschemeyer, S.A., Hahne, A. ve Fiebach, C.J. (2003) The role of left inferior frontal and superior temporal cortex in sentence comprehension: localizing syntactic and semantic processes. *Cerebral Cortex*, **13**, 170–177.

Galantucci, S., Tartaglia, M.C., Wilson, S.M., Henry, M.L., Filippi, M., Agosta, F. ve ark. (2011). White matter damage in primary progressive aphasia: a diffusion tensor tractography study. *Brain*, **134**, 3011-3029.

Ge, R., Zhang, H., Yao, L. ve Long, Z. (2015). Motor imagery learning induced changes in functional connectivity of the default mode network. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, **23(1)**, 138–148.

Geng, J.J., ve Mangun, G.R. (2011). Right temporoparietal junction activation by a salient contextual cue facilitates target discrimination. *NeuroImage*, **54(1)**, 594–601.

Gordon, E. M., Laumann, T. O., Marek, S., Raut, R. V., Gratton, C., Newbold, ve ark. (2020). Default-mode network streams for coupling to language and control systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **117(29)**, 17308–17319. <https://doi.org/10.1073/pnas.2005238117>

Gratton, C., Sun, H. ve Petersen, S.E. (2018). Control networks and hubs. *Psychophysiology*, **55(3)**, 1–18. <https://doi.org/10.1111/psyp.13032>

Gregory, M. D., Agam, Y., Selvadurai, C., Nagy, A., Vangel, M., Tucker, M. ve ark. (2014). Resting state connectivity immediately following learning correlates with subsequent sleep-dependent enhancement of motor task performance. *NeuroImage*, **102(2)**, 666–673. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.08.044>

Guerra-Carrillo, B., Mackey, A. P. ve Bunge, S. A. (2014). Resting-State fMRI: a window into human brain plasticity. *The Neuroscientist*, **20(5)**, 522–533. <https://doi.org/10.1177/1073858414524442>

Habas, C., Kamdar, N., Nguyen, D., Prater, K., Beckmann, C.F., Menon, V. ve ark. (2009). Distinct cerebellar contributions to intrinsic connectivity networks. *Journal of Neuroscience*, **29**, 8586–8594.

Hamilton, A.C., Martin, R.C. ve Burton, P.C. (2009). Converging functional magnetic resonance imaging evidence for a role of the left inferior frontal lobe in semantic retention during language comprehension. *Cognitive Neuropsychology*, **26**, 685–704.

Harrison, B. J., Pujol, J., Contreras-Rodríguez, O., Soriano-Mas, C., López-Solà, M., Deus, J. ve ark. (2011). Task-Induced deactivation from rest extends beyond the default mode brain network. *PLoS ONE*, **6(7)**. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0022964>

Hirik, S. (2019). Türkçe Söz Diziminde Taşıma ve Taşımanın Dönüşüme Etkisi. *Türkiyat Mecmuası- Journal of Turkology*, **29(2)**, 2, 403–418.

<https://doi.org/10.26650/iuturkiyat.651057>

Höller-Wallscheid, M. S., Thier, P., Pomper, J. K. ve Lindner, A. (2017). Bilateral recruitment of prefrontal cortex in working memory is associated with task demand but not with age. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **114(5)**, E830–E839.

<https://doi.org/10.1073/pnas.1601983114>

Humphreys, G. F., Hoffman, P., Visser, M., Binney, R. J. ve Lambon, M.A. (2015). dissociations between the semantic and default mode networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **112(25)**, 7857–7862.

<https://doi.org/10.1073/pnas.1422760112>

Ischebeck, A., Heim, S., Siedentopf, C., Zamarian, L., Schocke, M., Kremser, C. ve ark.(2008). Are numbers special? Comparing the generation of verbal materials from ordered categories (months) to numbers and other categories (animals) in an fMRI study. *Human Brain Mapping* **29**, 894–909.

Ivanova, M. V., Dragoy, O., Kuptsova, S. V., Yu. Akinina, S., Petrushevskii, A. G., Fedina, O. N. ve ark. (2018). Neural mechanisms of two different verbal working memory tasks: A VLSM study. *Neuropsychologia*, **115**, 25–41.

<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.03.003>

Ji, J.L., Spronk, M., Kulkarni, K., Repovš, G., Anticevic, A. ve Cole, M. W. (2018). Mapping the human brain's cortical-subcortical functional network organization. *NeuroImage*. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.10.006>

Kandel, E.R., Schwartz, J.H., Jessell, T.M., Siegelbaum, S.A. ve Hudspeth, A.J. (2013). *Principles of Neural Science* (5th ed). NewYork, McGraw-Hill Companies.

Klöbl, M., Gryglewski, G., Rischka, L., Godbersen, G. M., Unterholzner, J., Reed, M. B. ve ark. (2020). Predicting antidepressant citalopram treatment response via changes in brain functional connectivity after acute intravenous challenge. *Frontiers in Computational Neuroscience*, **14**, 1–17.

<https://doi.org/10.3389/fncom.2020.554186>

Koenigs, M., Barbey, A. K., Postle, B. R. ve Grafman, J. (2009). Superior parietal cortex is critical for the manipulation of information in working memory. *Journal of Neuroscience*, **29(47)**, 14980–14986. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3706-09.2009>

Krieger-Redwood, K., Jefferies, E., Karapanagiotidis, T., Seymour, R., Nunes, A., Ang, J. W. A. ve ark. (2016). Down but not out in posterior cingulate cortex: Deactivation yet functional coupling with prefrontal cortex during demanding semantic cognition. *NeuroImage*, **141**, 366–377. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.07.060>

Kuram, K. (2006). Türkçede Yer Öbeklerinin Bazı Sözdizimsel Özellikleri. Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Dilbilim ABD. Yüksek lisans Tezi. Ankara.

Kurt, E. (2018). Beyin dinlenme durumu ağlarının duysal, motor ve kognitif aktivasyon koşullarında incelenmesi. İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Sinirbilim ABD. Doktora Tezi. İstanbul.

Lambon Ralph, M. A., Jefferies, E., Patterson, K. ve Rogers, T.T. (2017). The neural and computational bases of semantic cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, **18**, 42-55.

Leech, R., Kamourieh, S., Beckmann, C. F. ve Sharp, D. J. (2011). Fractionating the default mode network: Distinct contributions of the ventral and dorsal posterior cingulate cortex to cognitive control. *Journal of Neuroscience*, **31(9)**, 3217-3224. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.5626-10.2011>

Loaiza V.M. ve Camos V. (2018). The role of semantic representations in verbal working memory. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, **44**, 863–881

Logie, R.H., Camos, V. ve Cowan, N. (2021). The State of the Science of Working Memory. İçinde Logie, R.H., Camos, V. ve Cowan, N. (Ed.), *Working Memory State of Science*. Oxford University Press. 1-9. DOI: 10.1093/oso/9780198842286.003.0001

Lukic, S., Thompson, C. K., Barbieri, E., Chiappetta, B., Bonakdarpour, B., Kiran, S. ve ark. (2021). Common and distinct neural substrates of sentence

production and comprehension. *NeuroImage*, **224**, 117374. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117374>

Ma, L., Narayana, S., Robin, D. A., Fox, P. T. ve Xiong, J. (2011). Changes occur in resting state network of motor system during 4 weeks of motor skill learning. *NeuroImage*, **58(1)**, 226– 233. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.06.014>

Macaluso E. 2010. Orienting of spatial attention and the interplay between the senses. *Cortex*, **46(3)**, 282–97.

Majerus, S. (2017). The dorsal attention network reflects both encoding load and top-down control during working memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **139 (2)**, 144-159. <https://doi.org/10.1162/jocn>

Majerus, S., Attout, L., D’Argembeau, A., Degueldre, C., Fias, W., Maquet, P. ve ark. (2012). Attention supports verbal short-term memory via competition between dorsal and ventral attention networks. *Cerebral Cortex*, **22**, 1086–1097

Majerus, S., Cowan, N., Peters, F., Van Calster, L., Phillips, C. ve Schrouff, J. (2016). Cross-modal decoding of neural patterns associated with working memory: Evidence for attention-based accounts of working memory. *Cerebral Cortex*, **26**, 166–179.

Makris, N., Kennedy, D.N., McInerney, S., Sorensen, A.G., Wang, R., Caviness, V.S. ve ark (2005). Segmentation of subcomponents within the superior longitudinal fascicle in humans: a quantitative, in vivo, DT-MRI study. *Cerebral Cortex*, **19**, 854-869.

Makuuchi, M., Bahlmann, J., Anwender, A. ve Friederici, A.D. (2009). Segregating the core computational faculty of human language from working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **106(20)**, 8362-8367.

Makuuchi, M., Grodzinsky, Y., Amunts, K., Santi, A. ve Friederici, A. D. (2013). Processing noncanonical sentences in Broca’s region: Reflections of movement distance and type. *Cerebral Cortex*, **23(3)**, 694–702. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhs058>

Marek, S. ve Dosenbach, N. U. F. (2018). The frontoparietal network: function, electrophysiology, and importance of individual precision mapping. *Dialogues Clin Neurosci*, **20**, 133–140. www.dialogues-cns.org

Mariën, P. ve Manto, M. (2018). Cerebellum as a Master-Piece for Linguistic Predictability. *Cerebellum*, **17**(2), 101–103. <https://doi.org/10.1007/s12311-017-0894-1>

Mars, R.B. Sallet, J., Schüffegen, U. Jbabdi, S., Toni, I. ve Rushworth, M.F. (2012). Connectivity-based subdivisions of the human right “temporoparietal junction area”: evidence for different areas participating in different cortical networks. *Cerebral Cortex*, **22**(8), 1894–903.

Martin, N. ve Saffran, E. M. (1997). Language and auditory-verbal short-term memory impairments: Evidence for common underlying processes. *Cognitive Neuropsychology*, **14**, 641–682.

Martin, R. C. ve Breedin, S. D. (1992). Dissociations between speech perception and phonological short-term memory deficits. *Cognitive Neuropsychology*, **9**, 509–534.

Martin, R. C. ve Freedman, M. L. (2001). Short-term retention of lexical-semantic representations: implications for speech production. *Memory*, **9**, 261–280. doi: 10.1080/09658210143000173

Martin, R. C. ve He, T. (2004). Semantic short-term memory and its role in sentence processing: A replication. *Brain and Language*, **89**(1), 76–82. [https://doi.org/10.1016/S0093-934X\(03\)00300-6](https://doi.org/10.1016/S0093-934X(03)00300-6)

Martin, R. C. ve Romani, C. (1994). Verbal working memory and sentence comprehension: A multiple-components view. *Neuropsychology*, **8**(4), 506–523. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.8.4.506>

Martin, R. C. ve Schnur, T. T. (2019). Independent contributions of semantic and phonological working memory to spontaneous speech in acute stroke. *Cortex*, **112**, 58–68. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2018.11.017>

Martin, R. C., Ding, J., Hamilton, A. C. ve Schnur, T.T. (2021b). Working memory capacities neurally dissociate: evidence from acute stroke. *Cerebral Cortex Communications*, **2**(2), 1–13. <https://doi.org/10.1093/texcom/tgab005>

Martin, R. C., Lesch, M. F. ve Bartha, M. C. (1999). Independence of input and output phonology in word processing and short- term memory. *Journal of Memory and Language*, **41**(1), 3-29. <https://doi.org/10.1006/jmla.1999.2637>

Martin, R. C., Miller, M. ve Vu, H. (2004). Lexical-semantic retention and speech production: further evidence from normal and brain damaged participants for a phrasal scope of planning. *Cognitive Neuropsychology*, **21**, 625–644. doi:10.1080/02643290342000302

Martin, R.C., Rapp, B. ve Purcell, J.(2021a). Domain-specific working memory. İçinde Logie, R.H., Camos, V. ve Cowan, N. (Ed.), *Working Memory State of Science*. Oxford University Press. 235-281. DOI: 10.1093/oso/9780198842286.003.0009

Martin, R.C., Wu, D., Freedman, M., Jackson, E.F. ve Lesch, M. (2003). An event-related fMRI investigation of phonological versus semantic short-term memory. *Journal of Neurology*, **16**, 341–360.

Marvel, C. L. ve Desmond, J.E. (2010). Functional topography of the cerebellum in verbal working memory. *Neuropsychology Review*, **20**, 271–279.

Matsuyoshi, D., Ikeda, T., Sawamoto, N., Kakigi, R., Fukuyama, H. ve Osaka, N. (2010). Task-irrelevant memory load induces inattentional blindness without temporo-parietal suppression. *Neuropsychologia*, **48**, 3094-3101

McLaren, D.G., Ries, M.L., Xu, G. ve Johnson, S.C. (2012): A generalized form of context-dependent psychophysiological interactions (gPPI): A comparison to standard approaches. *NeuroImage*, **61**, 1277–1286

Menon, V. (2015). Salience Network. *Brain Mapping: An Encyclopedic Reference*, **2**, 597-611. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-397025-1.00052-X>

Menon, V. ve Uddin, L. Q. (2010). Saliency, switching, attention and control: A network model of insula function. *Brain Structure and Function*, **214**, 655–667. <https://doi.org/10.1007/s00429-010-0262-0>

Miller, G. A., Galanter, E. ve Pribram, K. H. (1960). *Plans and the Structure of Behavior*. New York, NY: Holt, Rinehart and Winston.

Mueller, J.L., Friederici, A.D., Mannel, C. (2012). Auditory perception at the root of language learning. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **109**, 15953-15958

Murdoch, B. E. (2010). The cerebellum and language: Historical perspective and review. *Cortex*, **46**, 858–868.

Newman, S.D., Ikuta, T. ve Burns, T. (2010). The effect of semantic relatedness on syntactic analysis: an fMRI study. *Brain and Language*, **113**, 51-58.

Newton, A.T., Morgan, V.L., Rogers, B.P. ve Gore, J.C. (2011). Modulation of steady state functional connectivity in the default mode and working memory networks by cognitive load. *Human Brain Mapping*, **32**, 1649–1659.

Nieto-Castanon, A. (2020). *Handbook of functional connectivity Magnetic Resonance Imaging methods in CONN*. Hilbert Press, Boston.

Owen, A.M., McMillan, K.M., Laird, A.R. ve Bullmore, E. (2005). N-back working memory paradigm: a meta-analysis of normative functional neuroimaging studies. *Human Brain Mapping*, **25**, 46–59.

Postle, B.R., Ferrarelli, F., Hamidi, M., Feredoes, E., Massimini, M., Peterson, M., ve ark. (2006) Repetitive transcranial magnetic stimulation dissociates working memory manipulation from retention functions in the prefrontal, but not posterior parietal, cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **18**, 1712–1722.

Powell, H.W., Parker, G.J., Alexander, D.C., Symms, M.R., Boulby, P.A., Wheeler-Kingshott, C.A. ve ark. (2006). Hemispheric asymmetries in language-related pathways: a combined functional MRI and tractography study. *Neuroimage*, **32**, 388-399.

Power, J. D., Barnes, K. A., Snyder, A. Z., Schlaggar, B. L. ve Petersen, S. E. (2012). Spurious but systematic correlations in functional connectivity MRI networks arise from subject motion. *NeuroImage*, **59(3)**, 2142–2154. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.10.018>

Power, J. D., Cohen, A. L., Nelson, S. M., Wig, G. S., Barnes, K. A., Church, J. A. ve ark. (2011). Functional network organization of the human brain. *Neuron*, **72**(4), 665-678. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2011.09.006>

Price, C. J. (2010). The anatomy of language : a review of 100 fMRI studies published in 2009. *Annals of the New York Academy of Sciences*, **1191**, 62–88. <https://doi.org/10.1111/j.1749>

Radanovic, M. ve Scaff, M. (2003). Speech and language disturbances due to subcortical lesions. *Brain and Language*, **84**, 337–35

Rademacher, J., Morosan, P., Schormann, T., Schleicher, A., Werner, C., Freund, H.J. ve ark. (2001). Probabilistic mapping and volume measurement of human primary auditory cortex. *NeuroImage*, **13**, 669–683.

Raichle, M. E. (2011). The restless brain. *Brain Connectivity*, **1**(1), 3-12. <https://doi.org/10.1089/brain.2011.0019>

Raichle, M. E. (2015). The brain's default mode network. *Annual Review of Neuroscience*, **38**(1), 413-427. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-071013-014030>

Raichle, M. E., Macleod, A. M., Snyder, A. Z., Powers, W. J., Gusnard, D. A. ve Shulman, G. L. (2001). A default mode of brain function. *Proceedings of the National Academy of Science*, **98**(2), 676–682. <https://doi.org/10.1073/pnas.98.2.676>

Ranganath, C. ve Blumenfeld, R. S. (2005). Doubts about double dissociations between short-and long-term memory. *Trends in Cognitive Sciences*, **9**, 374–380.

Ravizza, S. M., Delgado, M. R., Chein, J. M., Becker, J. T. ve Fiez, J. A. (2004). Functional dissociations within the inferior parietal cortex in verbal working memory. *Neuroimage*, **22**, 562–573. doi: 10.1016/j.neuroimage.2004.01.039

Reuter-Lorenz, P.A. ve Iordani A.D. (2021). Remembering over the short and long term. İçinde Logie, R.H., Camos, V. ve Cowan, N. (Ed.), *Working Memory State of Science*. Oxford University Press. 282-310. DOI: 10.1093/oso/9780198842286.003.0010

Rogalsky, C., Almeida, D., Sprouse, J. ve Hickok, G. (2015). Sentence processing selectivity in Broca's area: evident for structure but not syntactic movement. *Language, Cognition and Neuroscience*, **30(10)**, 1326-1338.

Rolheiser, T., Stamatakis, E.A. ve Tyler, L.K. (2011). Dynamic processing in the human language system: synergy between the arcuate fascicle and extreme capsule. *Journal of Neuroscience*, **31**, 16949-16957.

Rose, N.S., Buchsbaum, B.R. ve Craik, F.I.M. (2014). Short-term retention of a single word relies on retrieval from long- term memory when both rehearsal and refreshing are disrupted. *Mem Cognit*, **42(5)**, 689–700. doi: 10.3758/s13421-014-0398-x.

Sadaghiani, S., Scheeringa, R., Lehongre, K., Morillon, B., Giraud, A. L. ve Kleinschmidt, A. (2010). Intrinsic connectivity networks, alpha oscillations, and tonic alertness: A simultaneous electroencephalography/functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Neuroscience*, **30**, 10243–10250. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1004-10.2010>

Sang, L., Qin, W., Liu, Y., Han, W., Zhang, Y., Jiang, T. ve ark. (2012). Resting-state functional connectivity of the vermal and hemispheric subregions of the cerebellum with both the cerebral cortical networks and subcortical structures. *Neuroimage*, **61**, 1213-1225.

Santi, A. ve Grodzinsky, Y. (2007). Working memory and syntax interact in Broca's area. *NeuroImage*, **37(1)**, 8–17.

Santi, A., Friederici, A. D., Makuuchi, M. ve Grodzinsky, Y. (2015). An fMRI study dissociating distance measures computed by Broca's area in movement processing: clause boundary vs. identity. *Frontiers in Psychology*, **6**, 654, 1-12.

Sarubbo, S., De Benedictis, A., Maldonado, I.L., Basso, G. ve Duffau, H. (2011). Frontal terminations for the inferior fronto-occipital fascicle: anatomical dissection, DTI study and functional considerations on a multi-component bundle. *Brain Structure and Function* <http://dx.doi.org/10.1007/s00429-011-0372-3>.

Saur, D., Kreher, B., Schnell, S., Kümmerer, D., Kellmeyer, P., Vry, M.S. ve ark. (2008). Ventral and dorsal pathways for language. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **105**, 18035-18040.

Schaefer, A., Kong, R., Gordon, E. M., Laumann, T. O., Zuo, X., Holmes, A. J., E. ve ark.(2018). Local-global parcellation of the human cerebral cortex from intrinsic functional connectivity MRI. *Cerebral Cortex*, **28(9)**, 3095–3114.

<https://doi.org/10.1093/cercor/bhx179>

Schmahmann, J. D. (2003). Vascular syndromes of the thalamus. *Stroke*, **34**, 2264–2278.

Schwering, S. C. ve MacDonald, M. C. (2020). Verbal working memory as emergent from language comprehension and production. *Frontiers in Human Neuroscience*, **14**, 1–19. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00068>

Sebzecioğlu, T. (2008). Türkçede Edilgenlik. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Dilbilim ABD.Doktora Tezi. İzmir.

Seeley, W. W. (2019). The salience network: a neural system for perceiving and responding to homeostatic demands. *The Journal of Neuroscience*, **39(50)**, 9878–9882. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1138-17.2019>

Seeley, W. W., Menon, V., Schatzberg, A. F., Keller, J., Glover, G. H., Kenna, H. ve ark. (2007). Dissociable intrinsic connectivity networks for salience processing and executive control. *Journal of Neuroscience*, **27**, 2349–2356.

Seeley, W. W., Merkle, F. T., Gaus, S. E., Craig, A. D., Allman, J. M. ve Hof, P. R. (2012). Distinctive neurons of the anterior cingulate and frontoinsula cortex: A historical perspective. *Cerebral Cortex*, **22**, 245–250.

Seghier, M. L.(2013). The angular gyrus: Multiple functions and multiple subdivisions. *Neuroscientist*, **19(1)**, 43–61.

Shallice, T. ve Warrington, E. K. (1970). Independent functioning of verbal memory stores: A neuropsychological study. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **22**, 261–273.

Shen, W., Tu, Y., Gollub, R. L., Ortiz, A., Napadow, V., Yu, S. ve ark. (2019). Visual network alterations in brain functional connectivity in chronic low back pain: A resting state functional connectivity and machine learning study. *NeuroImage: Clinical*, **22**, 101775. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2019.101775>

Shivde, G. ve Anderson, M. C. (2011). On the existence of semantic working memory: Evidence for direct semantic maintenance. *Journal of Experimental Psychology Learning Memory and Cognition*, **37**, 1342-1370.

Shivde, G. ve Thompson-Schill, S. L. (2004). Dissociating semantic and phonological maintenance using fMRI. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, **4**(1), 10–19. <https://doi.org/10.3758/CABN.4.1.10>

Shulman, G. L., Fiez, J. A., Corbetta, M., Buckner, R. L., Miezin, F. M., Raichle, M. E. ve ark. (1997). *Journal of Cognitive Neuroscience*, **9**, 648–663.

Shulman, G.L., Astafiev, S.V., McAvoy, M.P., D’Avossa, G. ve Corbetta, M. (2007). Right TPJ deactivation during visual search: functional significance and support for a filter hypothesis. *Cerebral Cortex*, **17**(11), 2625–33.

Shulman, G.L., McAvoy, M.P., Cowan, M.C., Astafiev, S.V., Tansy, A.P., D’Avossa, G. ve ark. (2003). Quantitative analysis of attention and detection signals during visual search. *Journal of Neurophysiology*, **90**(5), 3384–97.

Smith, V., Mitchell, D. J. ve Duncan, J. (2018). Role of the default mode network in cognitive transitions. *Cerebral Cortex*, 1–12.

Smith, V., Mitchell, D. J. ve Duncan, J. (2019). The effect of rule retrieval on activity in the default mode network. *NeuroImage*, **202**, 116088. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.116088>

Solís-Vivanco, R., Jensen, O. ve Bonnefond, M. (2021). New insights on the ventral attention network: Active suppression and involuntary recruitment during a bimodal task. *Human Brain Mapping*, **42**(6), 1699–1713.

Spreng, R. N., Sepulcre, J., Turner, G. R., Stevens, W. D. ve Schacter, D. L. (2013). Intrinsic architecture underlying the relations among the default, dorsal attention, and frontoparietal control networks of the human brain. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **25**, 74–86. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00281

Sridharan, D., Levitin, D. J. ve Menon, V. (2008). A critical role for the right fronto-insular cortex in switching between central- executive and default-mode networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, **105**, 12569 12574. <https://doi.org/10.1073/pnas.0800005105>

Stoodley, C. J. ve Schmahmann, J. D. (2010). Evidence for topographic organization in the cerebellum of motor control versus cognitive and affective processing. *Cortex*, **46**(7), 831–844. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2009.11.008>

Strick, P. L., Dum, R. P. ve Fiez, J. A. (2009). Cerebellum and nonmotor function. *Annual Review of Neuroscience*, **32**, 413–434.

Sylvester, C. M., Corbetta, M., Raichle, M. E., Rodebaugh, T. L., Schlaggar, B. L., Sheline, Y. I. ve ark. (2012). Functional network dysfunction in anxiety and anxiety disorders. *Trends in Neurosciences*, **35**(9), 527–535.

Szczepanski, S. M., Pinsk, M. A., Douglas, M. M., Kastner, S. ve Saalman, Y. B. (2013). Functional and structural architecture of the human dorsal frontoparietal attention network. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **110** (39), 15806–15811. <https://doi.org/10.1073/pnas.1313903110>

Tan, Y. ve Martin, R. C. (2018). Verbal short-term memory capacities and executive function in semantic and syntactic interference resolution during sentence comprehension: Evidence from aphasia. *Neuropsychologia*, **113**, 111–125. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.03.001>

Tan, Y., Martin, R. C. ve Van Dyke, J. A. (2017). Semantic and syntactic interference in sentence comprehension: A comparison of working memory models. *Frontiers in Psychology*, **8**, 1–19. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00198>

Todd, J. J., Fugnie, D. ve Marois, R. (2005). Visual short-term memory load suppresses temporo-parietal junction activity and induces inattention blindness. *Psychological Science*, **16**, 965–972.

Tomasi, D., Ernst, T., Caparelli, E. C. ve Chang, L. (2006). Common deactivation patterns during working memory and visual attention tasks: An intra-subject fMRI study at 4 Tesla. *Human Brain Mapping*, **27**(8), 694–705. <https://doi.org/10.1002/hbm.20211>

Tsapkini, K. ve Rapp, B. (2010). The orthography-specific functions of the left fusiform gyrus: evidence of modality and category specificity. *Cortex*, **46**, 185–205. doi: 10.1016/j.cortex.2009.02.025

Turken, U. ve Dronkers, N.F. (2011). The neural architecture of the language comprehension network: converging evidence from lesion and connectivity analyses. *Frontiers in Systems Neuroscience*, **5**,1.

Tyler, L.K., Marslen-Wilson, W.D., Randall, B., Wright, P., Devereux, B.J., Zhuang, J. ve ark. (2011) Left inferior frontal cortex and syntax: function, structure and behaviour in patients with left hemisphere damage. *Brain*, **134**, 415–431.

Ulaşoğlu Yıldız, Ç. (2017). Spinoserebellar ataksili hastalarda örtük bellek süreçleri ile yapısal ve fonksiyonel konnektivite korelasyonları. İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Sinirbilim ABD. Doktora Tezi. İstanbul.

Vatansever, D., Manktelow, A. E., Sahakian, B. J., Menon, D. K. ve Stamatakis, E. A. (2017). Angular default mode network connectivity across working memory load. *Human Brain Mapping*, **38(1)**, 41–52.

Vatansever, D., Menon, D.K., Manktelow, A.E., Sahakian, B.J. ve Stamatakis, E.A. (2015a): Default mode dynamics for global functional integration. *Journal of Neuroscience*, **35**, 15254–15262.

Vatansever, D., Menon, D.K., Manktelow, A.E., Sahakian, B.J. ve Stamatakis, E.A (2015b): Default mode network connectivity during task execution. *Neuroimage*, **122**, 96–104.

Vigneau, M., Beaucousin, V., Herve, P.Y., Duffau, H., Crivello, F., Houde, O. ve ark. (2006). Meta-analyzing left hemisphere language areas: phonology, semantics, and sentence processing. *Neuroimage*, **30**,1414-1432.

Vincent, J. L., Kahn, I., Snyder, A. Z., Raichle, M. E. ve Buckner, R. L. (2008). Evidence for a frontoparietal control system revealed by intrinsic functional connectivity. *Journal of Neurophysiology*, **100**, 3328–3342.

Vossel, S., Geng, J. J. ve Fink, G. R. (2014). Dorsal and ventral attention systems: Distinct neural circuits but collaborative roles. *The Neuroscientist*, **20(2)**, 150–159. <https://doi.org/10.1177/1073858413494269>

Wager, T.D ve Smith, E.E. (2003). Neuroimaging studies of working memory: a meta- analysis. *Cogn Affect Behav Neurosci*, **3**, 255–274.

Wen, T., Duncan, J. ve Mitchell, D. J. (2020). Hierarchical representation of multistep tasks in multiple-demand and default mode networks. *Journal of Neuroscience*, **40**, 7724–7738. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0594-20.2020>

Wilson, S.M., Galantucci, S., Tartaglia, M.C.R.K., Patterson, D.K., Henry, M.L., Ogar, J.M., ve ark. (2011). Syntactic processing depends on dorsal language tracts. *Neuron*, **72**, 397-403

Wright, P., Stamatakis, E.A. ve Tyler, L.K. (2012). Differentiating hemispheric contributions to syntax and semantics in patients with left-hemisphere lesions. *Journal of Neuroscience*, **32(24)**, 8149–8157. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0485-12.2012>

Xiong, Y. ve Newman, S. (2021). Both activation and deactivation of functional networks support increased sentence processing costs. *NeuroImage*, **225**, 117475. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117475>

Xu, Y., Lin, Q., Han, Z., He, Y. ve Bi, Y. (2016). Intrinsic functional network architecture of human semantic processing: Modules and hubs. *Neuroimage*, **132**, 542–555.

Yue, Q. ve Martin, R. C. (2022). Phonological working memory representations in the left inferior parietal lobe in the face of distraction and neural stimulation. *Frontiers in Human Neuroscience*, **16**, 1–18.

Yue, Q., Martin, R.C., Cris Hamilton, A. ve Rose, N.S. (2019). Non-perceptual regions in the left inferior parietal lobe support phonological short-term memory: evidence for a buffer account? *Cerebral Cortex*, **29(4)**, 1398–1413. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhy037>

Zalesky, A., Fornito, A. ve Bullmore, E.T. (2010). Network-based statistic: identifying differences in brain networks. *NeuroImage*, **53**, 1197–1207. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.06.041>

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

SEMANTİK VE SÖZDİZİMSEL SÜREÇLERDE ÇALIŞMA BELLEĞİNİN FONKSİYONEL MANYETİK REZONANS GÖRÜNTÜLEME İLE İNCELENMESİ

ORJİNALLİK RAPORU

% 3	% 3	% 0	% 1
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	% 2
2	nek.istanbul.edu.tr:4444 İnternet Kaynağı	% 1
3	Submitted to Istanbul University Öğrenci Ödevi	<% 1
4	www.istanbulsaglik.gov.tr İnternet Kaynağı	<% 1
5	avesis.marmara.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
6	www.acarindex.com İnternet Kaynağı	<% 1
7	docplayer.biz.tr İnternet Kaynağı	<% 1
8	tel.archives-ouvertes.fr İnternet Kaynağı	<% 1

open.library.ubc.ca